

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 456

March 2008

空港エプロンP C舗装版の補強構造に関する研究

坪川将丈 水上純一 江崎徹 小林雄二
吉松慎哉 青山敏幸 阪上德行 野中聡

Study on Structural Improvement for Airport Prestressed Concrete Pavement

Yukitomo TSUBOKAWA, Junichi MIZUKAMI, Toru ESAKI, Yuji KOBAYASHI
Shinya YOSHIMATSU, Toshiyuki AOYAMA, Noriyuki SAKAGAMI, and Satoru NONAKA

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

空港エプロンPC舗装版の補強構造に関する研究

坪川将丈*・水上純一**・江崎徹***・小林雄二****・
吉松慎哉*****・青山敏幸*****・阪上德行*****・野中聡*****

要 旨

東京国際空港西側旅客ターミナル地区エプロンに用いられているPC舗装において、航空機の走行に伴い膨張目地部から水が噴出する現象（ポンピング現象）が確認された。このポンピング現象を防止することを目的として、空港PC舗装の補強構造について検討した。対象とする補強構造としては、高圧の噴出水の噴き上げを防止するための新たな伸縮目地装置、およびポンピング現象の原因と考えられるPC版端部とその下部の枕版との相対変位を低減するための締結ボルトによるPC版－枕版の一体化構造である。この二種類の補強構造について、室内試験、走行載荷試験、FEM解析により、その適用性を検討した。

その結果、以下の結論が得られた。

- (1) 伸縮性能、段差吸収性能、荷重支持性能に優れた伸縮目地装置を開発した。
- (2) 締結ボルトによりPC版端部と枕版を締結することにより、航空機走行時のPC版端部－枕版間の相対変位量を抑制でき、ポンピングなどが生じにくい状況とすることが出来る。また、ボルトの配置間隔については、40kN程度のボルト締結力を導入することにより、ボルト間隔を2.2mとした場合でも、1.1mとした場合と同等の効果が得られる。
- (3) ボルト締結力が減少する要因を明らかにし、これらの要因を考慮したボルト締結力の管理方法をまとめた。

キーワード：PC舗装、ポンピング、ボルト締結構造、伸縮目地装置

* 空港研究部主任研究官

** 空港研究部空港施設研究室長

*** 九州地方整備局鹿児島港湾・空港整備事務所（元・空港施設研究室）

**** 空港研究部空港施設研究室

***** （株）ピーエス三菱

Study on Structural Improvement for Airport Prestressed Concrete Pavement

Yukitomo TSUBOKAWA^{*}, Junichi MIZUKAMI^{**},
Toru ESAKI^{***}, Yuji KOBAYASHI^{****},
Shinya YOSHIMATSU^{*****}, Toshiyuki AOYAMA^{*****},
Noriyuki SAKAGAMI^{*****} and Satoru NONAKA^{*****}

Synopsis

Pumping due to aircraft running near expansion joint of prestressed concrete pavement was confirmed at apron area in Tokyo International Airport. To prevent the pumping, we verified structural improvement for prestressed concrete pavement. One structural measure is new equipment for expansion joint to prevent water comes up from joint. Another is to connect the PC slab with joint sleeper slab by bolt to decrease relative displacement between these slabs. For the purpose of clarifying verification of these two structural measures, laboratory test, accelerated pavement test and FEM analysis were conducted.

As a result, following conclusions were obtained.

- (1) New equipment is developed for expansion joint. The performances of this equipment concerning to expansion, contraction, faulting, load capacity are superior to those of standard rubber equipment.
- (2) By connecting PC slab with joint sleeper slab, relative displacement between these slabs can be decreased and pumping can be prevented. The effectiveness of 2.2 m spacing bolts is almost same as that of 1.1 m spacing bolts if bolt tensile force is 40kN.
- (3) The causes of decrease of bolt tensile force are clarified, and maintenance method of bolt tensile force is proposed.

Key Words: prestressed concrete pavement, pumping, bolt connecting slabs, equipment for expansion joint

* Senior Researcher, Airport Department

** Head, Airport Facilities Division, Airport Department

*** Kagoshima Port and Airport Construction Office, Kyushu District Construction Bureau
(Former Research Engineer, Airport Facilities Division, Airport Department)

**** Research Engineer, Airport Facilities Division, Airport Department

***** P.S. Mitsubishi Construction Co., Ltd.

目 次

1. はじめに	1
2. 伸縮目地構造の検討	2
2.1 伸縮目地構造の設計条件	2
2.2 伸縮目地構造案	4
2.3 基礎試験 1 概要	5
2.4 基礎試験 1 結果	9
2.5 基礎試験 2 概要	13
2.6 基礎試験 2 結果	19
2.7 まとめ	30
3. 締結ボルト構造の検討	33
3.1 FEM 解析に基づく一体化構造の効果に関する検討	33
3.2 PC 版の温度伸縮を模擬したスライド試験(1)	37
3.3 スライド試験(1)結果	41
3.4 PC 版の温度伸縮を模擬したスライド試験(2)	47
3.5 スライド試験(2)結果	50
3.6 静的載荷試験	54
3.7 静的載荷試験結果	62
3.8 締結金具の構造・取り付け方法およびボルト締結力管理方法	69
3.9 アンカー部の材料変形によるボルト締結力減少量確認試験	77
3.10 緩衝ゴム変形によるボルト締結力減少量確認試験	86
3.11 トルク値のばらつき確認試験	87
3.12 ボルト締結力の管理方法	90
3.13 締結金具の構造・取り付け方法およびボルト締結力管理方法のまとめ	92
3.14 まとめ	92
4. 走行載荷試験による検証	93
4.1 PC 版舗装の製作及び設置	93
4.2 PC 版上の走行載荷試験	109
4.3 考察	117
4.4 まとめ	119
5. 結論	120
6. おわりに	120
参考文献	120
付録	121

1. はじめに

東京国際空港西側旅客ターミナル地区エプロンに用いられている PC 舗装において、航空機の走行に伴い膨張目地部から水が噴出する現象（ポンピング現象）が確認された。この噴出水は、水とともに小石や細粒化したグラウト材等の異物を吹き上げるため、航空機のジェットエンジンが噴出物を吸い込む可能性があり、問題となった。

当該舗装は、縦 100m、横 80m 程度を一つのユニットとする PC 舗装版が多数並べられた構造となっている。PC 舗装版は、建設終了後も沈下の継続する埋立て地盤上で施設閉鎖が不要で補修が可能な唯一のものである。この舗装では、隣り合う PC 舗装版の間には 2m 程度のスペースが必要となり、その部分には細長い PC 舗装版（緩衝版）が施工されている。緩衝版と PC 舗装版端部にはその下部にコンクリート製の枕版が設置されており、両者の間の段差を防ぐ構造となっている。また、PC 舗装版が長大なため年間気温の変化によって PC 舗装版の伸縮が大きくなることから、PC 舗装版と緩衝版の間には膨張目地が設けられている。目地には弾性材料（ゴムガasket）が設置されており、雨水が PC 舗装版下へ浸入することが防止されている。

しかし、供用後 10 年ほど経過して、地盤の不同沈下の進行、目地材の防水機能の衰え等が生じたことから、エプロンの一部では雨水が PC 舗装版下へ浸入することとなった。浸入した雨水は降雨後数日間 PC 舗装版下に滞水する状態となる。PC 舗装版と緩衝版を鉄筋等で連結することは構造上できないことから、この上を航空機が通過するときには PC 舗装版端部がたわみ、その後航空機が緩衝版へ移動したときには PC 舗装版端部が跳ね上がる。この現象が繰り返されることにより、PC 舗装版下に施工されたグラウト材料が細粒化する現象が進行し、これが滞留している水と一緒に、航空機の通過時に目地から上方へ吹き上げる、いわゆるポンピング現象となったと考えられる。

ポンピング現象を防止する目地構造としては、八谷ら¹⁾によるプレキャストプレストレストコンクリート (PPC) 版舗装の連結部を対象とした圧縮ジョイントが開発されているが、この圧縮ジョイントは今回のような膨張目地部での使用を想定していないことから、適用するのは困難であると考えられる。

以上のことから、PC 舗装の膨張目地部におけるポンピング現象を防止することを目的として、空港 PC 舗装の補強構造について検討した。

補強構造の一つ目は、高圧の噴出水の噴き上げを防止するための新たな伸縮目地装置の開発である。この目地装置には、目地構造が設置される PC 版の温度伸縮や段差に追従する機能、上載荷重を支持する機能、および構造細目上・施工上の制限を満足することが求められるため、これらの要件を満足する伸縮目地装置を検討した。

補強構造の二つ目は、締結ボルトによる PC 版端部とその下部にある枕版との一体化構造である。前述したグラウトの細粒化の原因としては、航空機の走行により PC 版端部とその下部の枕版の相対変位が大きくなり、グラウトが大きな繰返し圧縮に曝されていることが考えられる。グラウトが細粒化すると、当該箇所空隙が発生し、ポンピング現象が発生する原因となる。そこで、PC 版端部と枕版間の相対変位を低減させるために、PC 版端部と枕版を締結ボルトにより固定することを考えた。本報告では、温度変化による PC 版の水平伸縮が締結ボルトにより阻害されないかの検討、ボルト締結力、ボルトの配置間隔が、PC 版と枕版の一体化構造に及ぼす影響についての検討、締結金具の構造・取り付け方法ならびにボルト締結力の管理方法等について検討した。

これらの検討は、まず各種の室内試験および FEM 解析により基本的な特性を把握し、次に国土技術政策総合研究所所有の航空機荷重載荷装置を使用した走行載荷試験により適用性の検討を実施した。

2. 伸縮目地構造の検討

目地構造による対策として、図-1に示すようなPC版と緩衝版との目地遊間から噴出する間隙水を鉛直方向に噴出させない目地構造2案について検討した。



図-1 間隙水の噴出防止イメージ図

目地構造の検討にあたっては、目地構造が設置されるPC版の温度伸縮や段差に追従する機能、上載荷重を支持する機能、および構造細目上・施工上の制限を満足させる必要があるため、所定の設計条件を設定して試験を行った。

2.1 伸縮目地構造の設計条件

目地構造の検討にあたり設定した設計条件を以下に示す。表-1に設計条件一覧を示す。

① 版のはつり可能深さ Δh

目地構造の設置に必要な深さ（PC版のはつり可能深さ）は、PC鋼材定着具を傷めない深さ（40mm）以下とした。

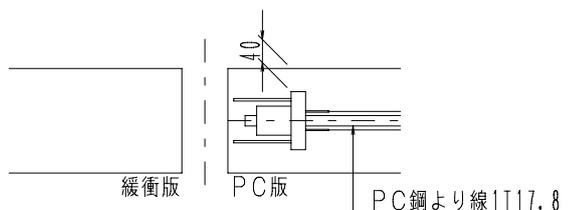


図-2 目地部分の拡大断面図

② 設計移動量 Δl

PC版伸縮時の理論上の不動点は中央であるが、実際には路盤との摩擦等の影響で中央から離れる可能性が高い。さらに15番・16番スポット以外の他区域への適用も考慮して、PC版の長さを設定した。なお、安全をみて伸び側・縮み側ともに全温度変化分の移動量を確保するものとした。

$$\Delta l = K \cdot \Delta T \cdot B = \pm 40 \text{ (mm)}$$

K：コンクリートの線膨張係数 $10 \times 10^{-6} \text{ (1/}^\circ\text{C)}$

ΔT ：温度変化 $\pm 40 \text{ (}^\circ\text{C)}$

B：PC版の長さ 100,000 (mm)

③ 最大目地遊間量 L_{\max}

目地遊間量の標準値には、エプロン舗装部のAタイプ（ゴムガasket）目地の値を適用した。

$$L_{\max} = L + \Delta l = 120 \text{ (mm)}$$

L：目地遊間量の標準値 80 (mm)

Δl ：設計移動量（②より） 40 (mm)

④ 緩衝版とPC版の許容段差

目地構造は地盤沈下等により生じる緩衝版とPC版の段差を吸収する必要がある。よって、許容段差をエプロン部の設計基準（勾配）、および出来形管理基準（段差）のいずれか大きい方の値に余裕量を与えた数値とした。

・設計基準：空港土木施設設計基準

エプロン部勾配=1.0 (%)以下

・出来形管理基準：空港土木工事共通仕様書

目地における版の高さの差=2mm以下であるが、余裕量を考え、5 mmと設定した。

この場合の勾配は、

$$\text{最小遊間時：} 5 / 40 \times 100 = 12.50 \text{ (\%)} > 1.0 \text{ (\%)}$$

$$\text{最大遊間時：} 5 / 120 \times 100 = 4.17 \text{ (\%)} > 1.0 \text{ (\%)}$$

⑤ 荷重条件

目地遊間部を走行する車両のうち、タイヤ接地形状が最大目地遊間量よりも小さな小型車両は目地遊間部にタイヤが脱落する可能性がある。

よって、目地構造遊間部の構造はこの荷重(Case 1)を支持できる必要がある。一方、大型機種（Case 2）のタイヤ接地形状は大きく、目地遊間部に脱落する可能性は極めて低いが、最大目地遊間量に近い機種（Case 3）の荷重について安全のため考慮する。また実構造物においては、航空機の走行に伴う舗装版端部の損傷が報告されており、本目地構造の検討においても航空機荷重(Case 3)を端部荷重として考慮する。

・Case 1：小型車両

4.00-8-6PR(1) (JIS D 6401-1995；産業車両及び建設車両用タイヤ)

エプロン部を走行する小型車両として小型トーイングトラクターやコンテナドリー等が挙げられるが、荷重条件に関する明確な基準書がない。よって、JISに規定される空気圧およびタイヤ断面幅から、載荷形状および荷重を設定した。

・Case 2：大型機種

神鋼電機 TD-750 (空港舗装構造設計要領；トーイングトラクターの諸元)

空港舗装構造設計要領に記載されるトーイングトラ

クターの諸元のうち、タイヤ接地形状が最大目地遊間量と近い機種について荷重を考慮した。

• Case 3：航空機

ボーイング社 B-747-400（空港舗装構造設計要領；航空機の諸元）

走行載荷試験で載荷する航空機荷重と同一なタイヤ接地圧を端部荷重として考慮する。なお、試験設備の制約から載荷板は Case 2 と同一とした。

⑥ 施工性

現在供用中のエプロン部での施工を考慮し、施工時間を離発着の無い夜間 4～5 時間に制限した。

⑦ 維持管理性

固定ボルトの緩み止め等により、点検業務の省力化を図るとともに、リフトアップ工事に伴う一時撤去・破損時の交換を考慮することとした。

表-1 設計条件一覧

項目	設計条件	備考
① 版のはつり深さ	最大 40 mm	PC鋼材定着部に損傷を与えない
② 設計移動量	± 40 mm	温度変化40℃, PC版の長さ100,000mm
③ 最大目地遊間量	120 mm	標準時目地遊間80mm
④ 許容段差	5 mm	設計基準：1.0%以下 出来形管理基準：目地における版の高さの差2mm以下
⑤ 荷重条件	Case1 $\sigma 1 = 0.725 \text{ N/mm}^2$	小型車両（接地寸法 80mm×115mm）
	Case2 $\sigma 2 = 0.590 \text{ N/mm}^2$	大型機種（接地寸法130mm×220mm）
	Case3 $\sigma 3 = 1.380 \text{ N/mm}^2$	航空機（接地寸法130mm×220mm）
⑥ 施工性	クローズすることなく、夜間4～5時間で作業できること。	
⑦ 維持管理性	点検頻度が少なく、交換が可能であること。	

2.2 伸縮目地構造案

(1) 第1案 目地構造

本目地構造は、目地遊間部の伸縮ゴムと、その両側の不等辺山形鋼を加硫接着により一体化することでポンピング現象による水の噴出を防止する。図-3に目地構造概要図を示す。

PC版の温度伸縮による移動量は目地遊間部の伸縮ゴムが吸収し、目地遊間部に載荷される荷重は作業車程度の軽微な荷重を上側ゴムが、設計条件で設定する大きな荷重(Case 1, Case 2)は下側ゴムが支持する。なお、上側ゴムの表面形状は、作業者の躓き・落ち込み防止に配慮した。

目地構造と舗装版の固定は、皿ネジボルト・長ナットおよび補強筋付き平鋼、無収縮モルタルと舗装版との付着を介して行うが、目地構造の位置調整が完了した段階で、舗装版に固定した溶接アンカーと目地構造のアンカー筋を溶接して位置を固定する。長ナットは無収縮モルタル内に収めることにより、既設の鉄筋やPC鋼材定着具との干渉を考慮しなくてもよい構造とした。

試験に用いた供試体の長さは試作金型を用いた押し出し成形により製作したため、皿ネジボルト間隔の2倍の300(mm)とした。実製品は製造上の限界長さである600(mm)を工場接合した3@600=1800(mm)を1ユニットとし、ユニット同士の接合は現場接合する計画とした。据え付けは、目地遊間量を実構造物にあわせて調整(遊間調整装置)し、高さ調整機構付きの仮固定治具により固定して行う。交換は一体化された伸縮ゴムと不等辺山形鋼の取替えにより行う。

(2) 第2案 目地構造

本目地構造は、目地遊間部全面を覆う鋼板(荷重支持板)によりポンピング現象による水の噴出を防止するとともに、目地遊間部に載荷される荷重(Case 1, Case 2)を支持する。図-4に目地構造概要図を示す。

荷重支持板は上面のゴム板と一体となって滑り板上を移動し、PC版の温度伸縮による移動量は荷重支持板両側のゴム可動部にて吸収する。

目地構造と舗装版の固定は、固定ボルトおよび打ち込み式アンカーを介して行うが、打ち込み式アンカーと既設鉄筋との干渉に備えてゴム板全長に渡って座グリを設け、固定ボルトの位置を柔軟に変更できる構造とした。座グリ部は据え付け完了後に充填材により平滑に仕上げる。

ゴム板の据え付けは、目地遊間量の大小に関わらず標

準形状で行い、交換は一体化されたゴム板と荷重支持板の取替えにより行う。

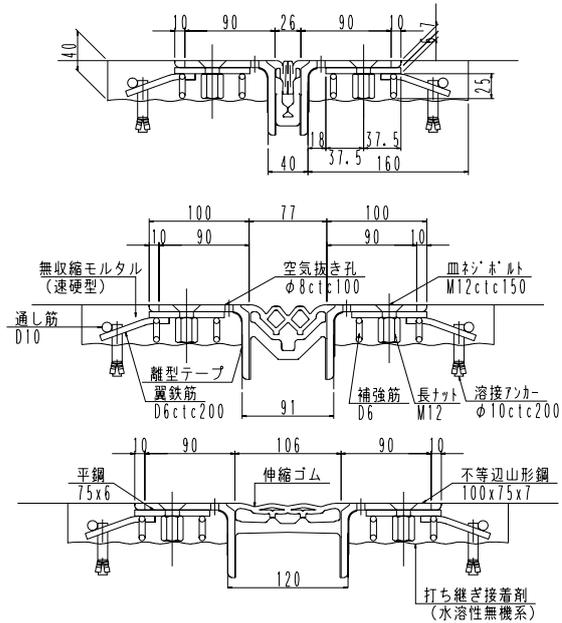


図-3 第1案目地構造概要図

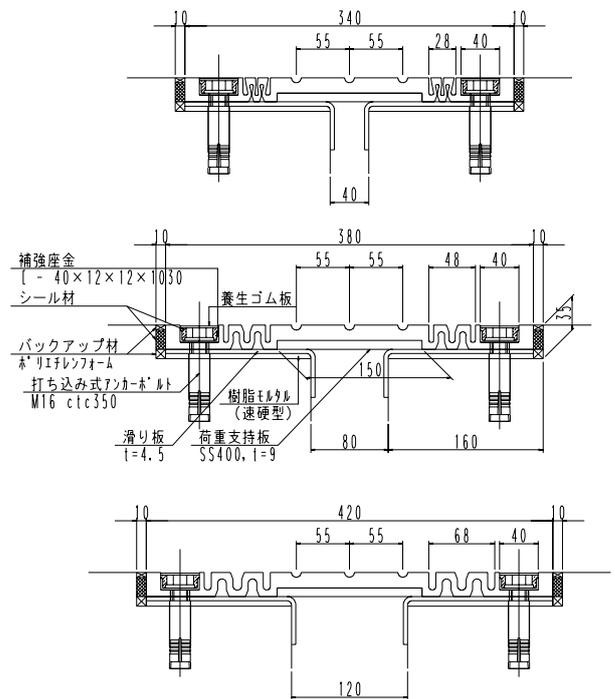


図-4 第2案目地構造概要図

2.3 基礎試験 1 概要

基礎試験 1 は目地構造が設計で想定した伸縮挙動を示すことの確認を目的に、各目地構造メーカーの試験所にて実施した。挙動確認の必須項目として伸縮性能・段差吸収性能を挙げ、必要に応じて荷重支持性能確認試験を実施した。

(1) 第 1 案目地構造に関する試験項目

a) 伸縮性能確認試験・段差吸収性能確認試験

表-2 に供試体一覧を示す。本試験では、PC 版の温度変化による伸縮挙動を日変化と年変化に分類し、それぞれの移動量および繰り返し回数を設定した。

①日変化を想定した試験：伸縮性能・段差吸収性能

日変化は、温度変化量は小さいが繰り返し回数(年 365 回×10 年)が多いため、10tf 高速アクチュエーターを用いて移動量±35mm、繰り返し回数合計 6000 回、載荷速度 42mm/s、供試体数 1 体(No.1)として伸縮挙動試験を行った。なお、繰り返し回数 2000 回ごとに段差の有無を設定し、段差吸収性能確認試験を同時に実施した。写真-1 に試験状況、図-5 に治具組立図を示す。

②年変化を想定した試験：伸縮性能

年変化は、温度変化量は大きい繰り返し回数(年 1 回×10 年)が少ないため、500kN アムスラー型万能試験機および引張側・圧縮側の各専用治具を用いて、移動量±40mm 相当、載荷速度 1mm/s として、破壊伸縮量に至るまで載荷した。供試体数は、引張側・圧縮側の各 3 体(合計 6 体)とした。写真-2 に試験状況、図-6、図-7 に引張側・圧縮側それぞれの治具組立図を示す。

b) 荷重支持性能確認試験

表-3 に供試体一覧、図-8 に荷重支持性能確認試験に用いた治具組立図を示す。本目地構造は、目地遊間部に載荷される荷重に対して不等辺山形鋼と加硫接着した伸縮ゴムが支持する構造であるため、加硫接着部の強度が課題となった。よって、基礎試験 2 に先行して伸縮ゴム部に対する荷重支持性能確認試験を実施した。試験は、①目地遊間量を変化させた試験、およびその結果を踏まえた②加硫接着部の安全性を確認する試験の 2 種類とし、500kN アムスラー型万能試験機を用いて実施した。なお②の試験については、後述する加硫接着部の接着長を伸ばした改良型供試体についても実施した。

①目地遊間量を変化させた試験

荷重支持の面で不利となる目地遊間量を確認するため、目地遊間量を 120mm・100mm の 2 水準に変化させ、各 3 体(合計 6 体)について載荷試験を実施した。遊間

量 100mm のときの伸縮ゴム幅は 86mm であり、設計条件の Case 1 の接地長 80mm にほぼ相当する。試験は、載荷板寸法 70mm×100mm、載荷荷重 Case A (5.11kN=設計条件 Case1 と同一接地圧)、Case B (7.67kN) の 2 ケースとした(120mm:No.8~No.10 供試体, 100mm:No.11~No.13 供試体)。

②加硫接着部の安全性を確認する試験

上記の試験結果より、目地遊間量を 120mm として、旧型供試体 3 体(No.14~No.16 供試体)および加硫接部の接着長さを伸ばした改良型供試体 3 体(図-9 参照, No.17~No.19 供試体)に対して試験を実施した。

試験は、載荷板寸法 80mm×115mm、載荷荷重 Case C (設計条件 Case 1 相当 6.7kN)、Case D (7.0kN)、Case E (10.0kN)、Case F (14.0kN) の 4 ケースとし、繰り返し回数は各供試体に対して表-3 の通り設定した。

表-2 伸縮性能確認試験・段差吸収性能確認試験 供試体一覧

(1) 日変化を想定した試験

供試体 番号	移動量			段差 (mm)	繰り返し回数				変位 速度 (mm/s)
	引張側 (mm)	圧縮側 (mm)	合計 (mm)		段差無 (回)	段差有 (回)	段差無 (回)	合計 (回)	
No. 1	+35	-35	70	5	2000	2000	2000	6000	42

※ 測定項目：荷重・変位・外観

(2) 年変化を想定した試験

供試体 番号	移動量			段差 (mm)	繰り返し回数				変位 速度 (mm/s)
	引張側 (mm)	圧縮側 (mm)	合計 (mm)		段差無 (回)	段差有 (回)	段差無 (回)	合計 (回)	
No. 2	+29 以上	---	(80)	---	1	---	---	1	1
No. 3					1	---	---	1	1
No. 4					1	---	---	1	1
No. 5	---	-51 以上	(80)	---	1	---	---	1	1
No. 6					1	---	---	1	1
No. 7					1	---	---	1	1

※ 測定項目：荷重・変位・外観

※ No. 2～No. 7の移動量は、目地遊間部の標準外寸法が91(mm)のため、引張側+29(mm)【91+29=120mm】，圧縮側-51(mm)【91-51= 40mm】とした。



写真-1 伸縮性能確認試験状況（日変化）

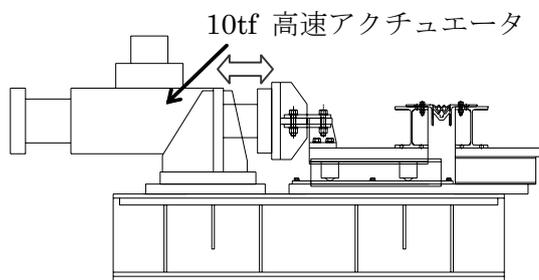


図-5 伸縮性能確認試験 治具組立図（日変化）

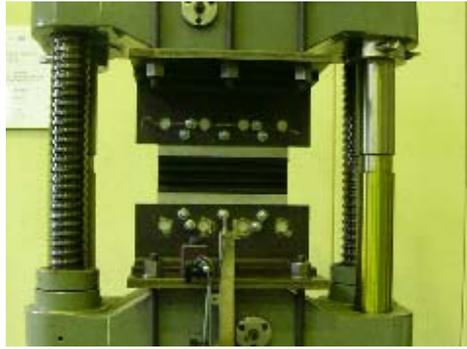


写真-2 伸縮性能確認試験状況（年変化）

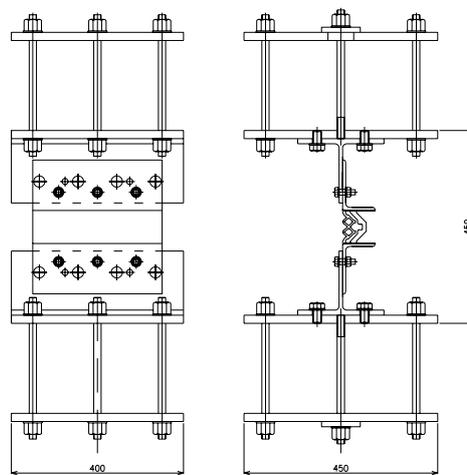


図-6 伸縮性能確認試験（年変化）治具組立図（引張側）

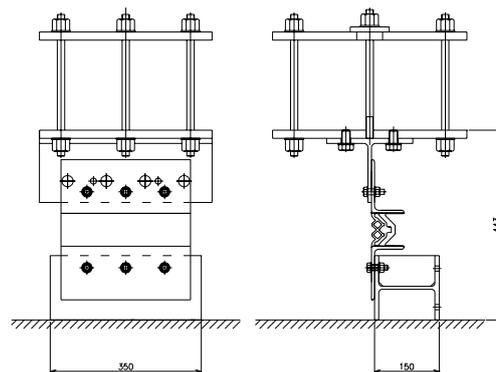


図-7 伸縮性能確認試験（年変化）治具組立図（圧縮側）

表-3 荷重支持性能確認試験供試体一覧

(1) 目地遊間量を変化させた試験

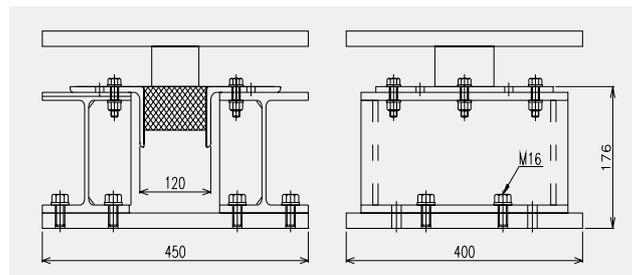
供試体番号	載荷板寸法 (mm)	供試体種別	目地遊間 (mm)	載荷荷重			
				Case A		Case B	
				(kN)	(回)	(kN)	(回)
No. 8	(幅) 70 x (長) 100	旧型	100	5.11	1	7.67	1
No. 9				5.11	1	7.67	1
No. 10				5.11	1	7.67	1
No. 11			120	5.11	1	7.67	1
No. 12				5.11	1	7.67	1
No. 13				5.11	1	7.67	1

※ 測定項目：荷重・変位・外観

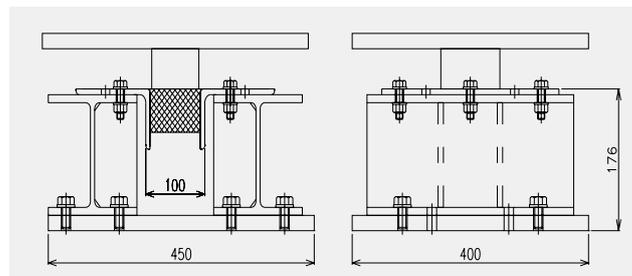
(2) 加硫接着部の安全性を確認する試験

供試体番号	載荷板寸法 (mm)	供試体種別	目地遊間 (mm)	載荷荷重							
				Case C		Case D		Case E		Case F	
				(kN)	(回)	(kN)	(回)	(kN)	(回)	(kN)	(回)
No. 14	(幅) 80 x (長) 115	旧型	120	6.7	10	7.0	0	10.0	0	14.0	0
No. 15				6.7	10	7.0	0	10.0	0	14.0	0
No. 16				6.7	20	7.0	2	10.0	1	14.0	1
No. 17		改良型	120	6.7	20	7.0	1	10.0	1	14.0	1
No. 18				6.7	20	7.0	1	10.0	1	14.0	1
No. 19				6.7	20	7.0	1	10.0	1	14.0	1

※ 測定項目：荷重・変位・外観

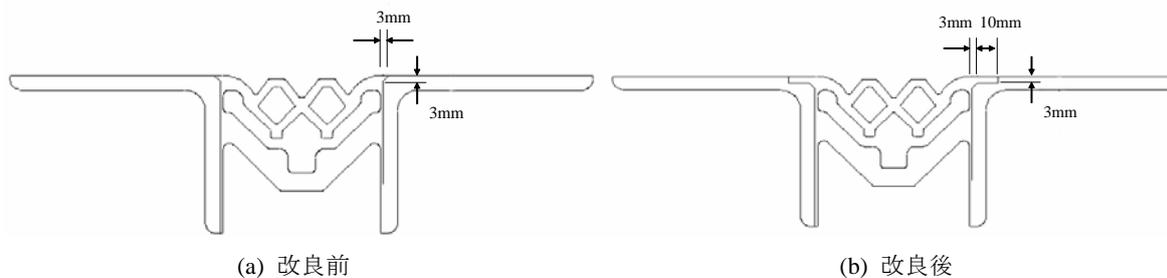


(a) 目地遊間量 120mm



(b) 目地遊間量 100mm

図-8 荷重支持性能確認試験 治具組立図



(a) 改良前

(b) 改良後

図-9 加硫接着端部の構造

2.4 基礎試験 1 結果

(1) 第 1 案目地構造に関する試験結果

a) 伸縮性能確認試験・段差吸収性能確認試験

表-4 に試験結果一覧を示す。試験結果から以下の傾向を把握した。

- ① 日変化を想定した試験結果 (No.1 供試体) から、外観に亀裂や剥離等の異常はみられず、段差 5mm を設けた 2000 回を含む合計 6000 回の伸縮挙動に対して十分追従できる。
- ② 年変化を想定した試験結果 (No.2~No.4 供試体) から、設計最大遊間量 120mm の状態で異常はみられな

かった。また、破壊遊間時は加硫接着部の端部の剥離により破壊したが、破壊遊間量は設計最大遊間量に対して平均 118mm 上回っており(破壊安全率 4 程度)、引張側の伸縮挙動に対して十分追従できる。

- ③ 年変化を想定した試験結果 (No.5~No.7 供試体) から、設計最小遊間量 40mm の状態で異常はみられなかった。一方、最小遊間量より縮めた状態では、目地延長方向への追い出しや、場合によっては上方向への膨らみが発生するため、圧縮側の適用範囲は最小遊間量 40mm までである。なお、引張試験・圧縮試験とも除荷後の復元性は良好であった。

表-4 伸縮性能確認試験・段差吸収性能確認試験 試験結果一覧

(1) 日変化を想定した試験

供試体番号	繰返回数 (回)	段差 (mm)	最小引張荷重 (kN)	最大圧縮荷重 (kN)	外観
No. 1	2000	---	2.8	6.6	OK
	4000	5	2.9	5.3	OK
	6000	---	2.6	7.0	OK
平均値	---	---	2.8	6.3	---

(2) 年変化を想定した試験

供試体番号	引張側					圧縮側			
	遊間 120mm		破断遊間			遊間 40mm		遊間 35mm	
	荷重 (kN)	外観	荷重 (kN)	遊間 (mm)	破断位置	荷重 (kN)	外観	荷重 (kN)	外観
No. 2	3.5	OK	20.0	250	端部	---	---	---	---
No. 3	3.5	OK	19.5	240	端部	---	---	---	---
No. 4	3.5	OK	16.5	225	端部	---	---	---	---
平均値	3.5	---	18.7	238	---	---	---	---	---
No. 5	---	---	---	---	---	8.8	OK	16.0	追出
No. 6	---	---	---	---	---	14.7	OK	19.5	上膨追出
No. 7	---	---	---	---	---	14.7	OK	20.6	追出
平均値	---	---	---	---	---	12.7	---	18.7	---

※ 荷重は目地構造 300mm 当たりの値を示す。

※ 追出：目地構造端部の伸縮ゴムが、直角方向へ追い出された状態。

※ 上膨：伸縮ゴムが、上方向へ膨らんだ状態。

b) 荷重支持性能確認試験

表-5 に試験結果一覧を示す。試験結果から以下の傾向を把握した。

- ① 目地遊間量を変化させた試験結果より、荷重載荷時の鉛直変位は目地遊間量 120mm の方が大きくなった。よって、目地遊間量 120mm の設計最大目地遊間時の方が荷重支持の面で不利となる。
- ② 設計荷重 Case 1 と同一接地圧とした Case A 荷重に対しては、全供試体とも異常はみられなかった。一方、Case 1 に対して 15%程度割り増した Case B 荷重に対しては、目地遊間量 120mm の供試体 1 体 (No.10 供試体) で加硫接着部の剥離が確認された。ただし、設

計以上の荷重であり、試作段階の当該供試体固有の問題とも考えられたが、品質管理体制を強化のうえ、加硫接着部の接着長を伸ばした改良型が望ましいと判断した。

- ③ 加硫接着部の安全性を確認する試験では、加硫接着端部の構造に関わらず、旧型および改良型供試体ともに、設計荷重 Case 1 の 2 倍以上の Case F (14kN) に対しても異常はみられなかった。
- ④ Case C の繰り返し載荷完了時の増加変位は、旧型よりも改良型の方が若干大きくなったが、加硫接着部の安全性を優先して接着長を伸ばした改良型を採用することとした。

表-5 荷重支持性能確認試験 試験結果一覧

(1) 目地遊間量を変化させた試験

供試体番号	目地遊間 (mm)	Case A : 5.11 (kN)		Case B : 7.67 (kN)	
		最大変位 (mm)	外観	最大変位 (mm)	外観
No. 8	120	28.0	OK	38.0	OK
No. 9		29.5	OK	40.0	OK
No. 10		27.0	OK	38.0	接着剥離
平均値		---	28.2	---	38.7
No. 11	100	20.0	OK	24.0	OK
No. 12		19.0	OK	23.5	OK
No. 13		19.0	OK	23.0	OK
平均値		---	19.3	---	23.5

(2) 加硫接着部の安全性を確認する試験

供試体番号	供試体種別	変位 (mm)							試験終了時外観
		Case C 6.7 (kN)				Case D 7 (kN)	Case E 10 (kN)	Case F 14 (kN)	
		1回目	10回目	20回目	増加変位	1回目	1回目	1回目	
No. 14	旧型	27.5	29.7	---	2.2	---	---	---	OK
No. 15		28.0	31.7	---	3.7	---	---	---	OK
No. 16		28.3	30.8	31.2	2.9	26.1	31.0	46.1	OK
No. 17		28.5	32.3	32.6	4.1	32.7	38.5	53.4	OK
No. 18		29.7	34.2	34.6	4.9	34.8	42.0	59.3	OK
No. 19		29.5	33.1	33.8	4.3	34.0	40.7	55.6	OK

(2) 第2案目地構造試験項目

a) 伸縮性能確認試験・段差吸収性能確認試験

表-6に供試体一覧、図-10に供試体断面図を示す。供試体は全2体とし、可動部のゴム山の数および座グリ部の補強の有無を組み合わせた。また、実構造物での挙動および施工性を確認するため、供試体はPC版を模擬したコンクリートブロック上へ据え付けて試験を行った。荷重は伸縮挙動試験機と専用治具を用いて実施し、温度変化量および繰り返し回数は年変化(±40mm)・日変化(年365回×10年以上)のそれぞれ厳しい方の値を設定した。なお、No.2供試体は本試験終了後に基礎試験2へ流用した。

b) 荷重支持性能(設計計算)

本目地構造は目地遊間部に荷重される荷重に対して、設計計算上の十分な安全率をもった荷重支持板(SS400, t=9mm)により支持するため、荷重載荷試験は後述する基礎試験2において実施することとした。表-7に設計計算結果を示す。

(3) 第2案目地構造試験結果

表-8に試験結果一覧を示す。試験結果から以下の傾向を把握した。

- ① No.1-1 供試体は、挙動1回目において圧縮側・引張側ともに異常が発生した。引張側はボルト部のゴムが極端に変形し、圧縮側は片側の可動部を頂点として目地構造全体に浮き上がる現象が生じた。
- ② No.1-2 供試体では、目地構造全体の浮き上がりとボルト部の変形を抑制するため、座グリ部に補強座金(平鋼)を配置した。その結果、引張側のボルト部の変形は抑制できたものの、圧縮挙動1回目において両側の可動部に挟まれた区間に浮き上がりが生じた。
- ③ No.2 供試体では、再度条件を見直した解析を行い、可動部のゴム山の数を3山から5山へ変更した。その結果、圧縮時に可動部が僅かに盛り上がったものの目地構造全体が浮き上がることはなかった。その後、連続挙動試験を実施したが、段差を設けると可動部の盛り上がりが大きくなる傾向がみられた。

表-6 伸縮性能確認試験・段差吸収性能確認試験 供試体一覧

供試体 番号	可動部 形状	座グリ 部補強	移動量			段差 (mm)	繰り返し回数		
			引張側 (mm)	圧縮側 (mm)	合計 (mm)		段差無 (回)	段差有 (回)	合計 (回)
No.1	-1	3山	+40	-40	80	0	---	---	---
	-2	3山				あり	0	---	---
No.2	5山	あり				5	3650	1825	5475

※ 測定項目：外観・可動部盛り上がり量

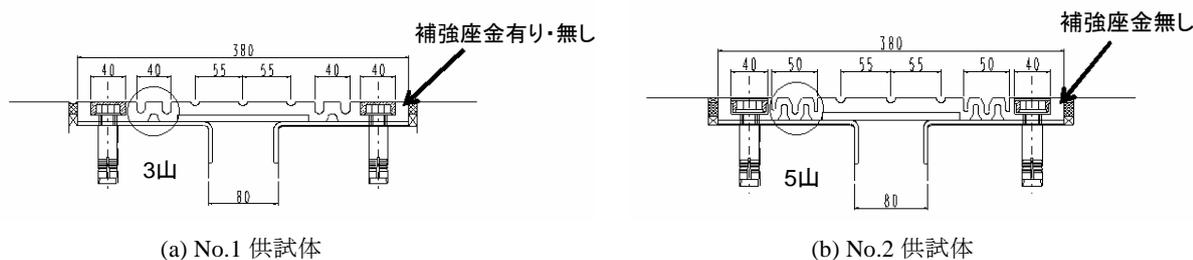


図-10 供試体断面図

表-7 荷重支持板 設計計算結果

	曲げ引張応力度			せん断応力度		
	計算値 (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	安全率	計算値 (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	安全率
Case1中央載荷	85.9	140	1.6	3.2	80	25.0
Case1端部載荷	76.4		1.8	4.3		18.6
Case2中央載荷	78.7		1.8	3.9		20.5

※ 許容値は道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編より。

表-8 伸縮性能確認試験・段差吸収性能確認試験 試験結果一覧

(1) 外観状況

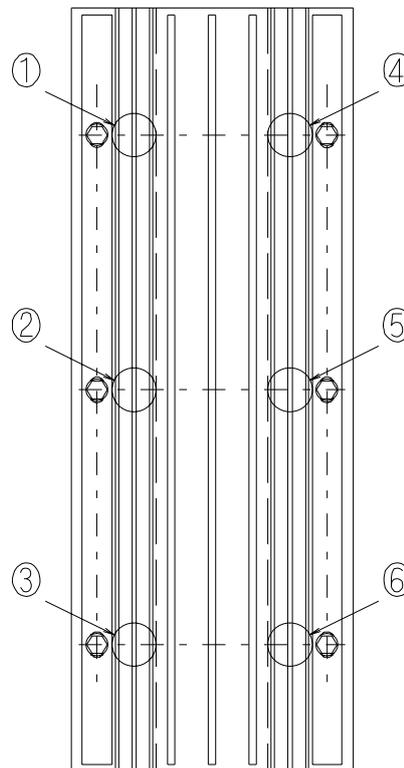
供試体番号	可動部形状	座グリ部補強	段差 (mm)	外観				
				引張側		圧縮側		
				可動部	ボルト部	可動部	ボルト部	
No. 1	-1	3山	なし	0	OK	変形	浮上	変形
	-2	5山	あり	0	OK	OK	浮上	OK
No. 2		5山	あり	5	OK	OK	盛上	OK

※ 測定項目：外観・可動部盛り上がり量 (No. 2供試体のみ)

※ 可動部盛り上がり量は、固定ボルト付近の最大点での計測

(2) No. 2供試体の盛り上がり量実測値 (圧縮側)

供試体番号	段差なし		段差5(mm)	
	測点	実測値 (mm)	測点	実測値 (mm)
No. 2	①	3	①	8
	②	5	②	9
	③	4	③	9
	④	3	④	5
	⑤	4	⑤	6
	⑥	4	⑥	5
平均値	---	3.8	---	7.0



盛り上がり量測定位置図

2.5 基礎試験 2 概要

(1) 試験概要

基礎試験 2 は目地構造の施工性および荷重支持性能の確認を目的に、両目地構造案とも（株）ピーエス三菱技術研究所にて実施した。施工性能は供試体作製手順を実施と同様とすることにより確認し、荷重支持性能は破壊試験および疲労試験により確認することとした。

なお、第 2 案目地構造については、荷重支持性能確認試験終了後の供試体を用いて伸縮性能確認試験および段差吸収性能確認試験（圧縮側）を実施した。

(2) 供試体作成

目地構造の実施工においては設計条件に示す時間的制約を受けるため、その施工性について事前に確認する必要がある。よって基礎試験 2 は、舗装版を模擬したコンクリートブロックに実施工と同じ作業手順で目地構造を据え付けて試験を行った。図-11、図-12 に供試体概要図を示す。

コンクリートブロック間の目地遊間量は、基礎試験 1 の試験結果から荷重支持の面で最も不利な設計最大遊間量 120mm とし、調整台の上にボルトで固定した。コンクリートブロックと切り欠き部後埋め材との界面は、チッピングによる打ち継ぎ処理を行った。

(3) 使用材料

a) コンクリートブロック（両目地構造共通）

コンクリートブロックの作製に用いたコンクリートの呼び強度は舗装版と同じ 40N/mm² とし、セメントは早強セメントを使用した。表-9 にコンクリートの品質管理試験結果を示す。

b) 無収縮モルタル（第 1 案目地構造切欠き部後埋め材）

第 1 案目地構造は切り欠き部後埋め材の厚みが比較的厚く（30mm 程度）、施工が目地構造設置後の注入となることから、流動性と無収縮性に優れた無収縮モルタル（プレミックスタイプ）を使用した。また、施工時間の制約を考慮して速硬型を選択した。表-10 に配合表を示す。1 袋あたりの水量は、標準水量の 4.5kg とした。

c) 樹脂モルタル・打ち継ぎ接着剤（第 2 案目地構造切欠き部不陸調整材）

第 2 案目地構造は切り欠き部後埋め材の厚みが薄く（5mm 程度）、滑り板の設置前に左官仕上げにより施工することから、薄塗り用の樹脂モルタルを使用した。また施工時間の制約を考慮して速硬型を選択した。表-11 に配合表を示す。なお、コンクリート面には打ち継ぎ接

着剤を塗布（メーカー推奨仕様）した。

(4) 試験項目

a) 施工性確認試験

本試験では計画段階で想定した据え付け手順の妥当性を検証するため、実施工と同じ作業手順で目地構造を据え付けることとした。図-12 に各目地構造案の据え付け手順を示す。

第 1 案目地構造の据え付けは遊間量を実構造物にあわせて行う必要があるため、専用の遊間調整装置および仮固定治具（所定の遊間量に調整した状態を維持するための治具）を用いて遊間調整を行う。遊間調整済みの目地構造は、切り欠き内に収めた後、事前に打ち込んだ溶接アンカーと目地構造側の補強筋を溶接することにより所定の位置で仮固定する。

目地構造の配置が正しいことを確認した後、切り欠き部後埋め材（無収縮モルタル）を注入・硬化後に仮固定治具を解放して完了となる。

第 2 案目地構造の据え付け位置は打ち込みアンカーの配置精度に大きく左右されるため、先行してアンカー孔を削孔して詰め物（ウェス等）により養生してはつり作業を行う。

打ち込みアンカーが既設鉄筋等に干渉して所定の位置に配置困難な場合は、目地構造延長方向に位置を変更し、これにあわせて補強座金およびゴム板のボルト孔を新たに削孔する（座グリ内で調整）。はつり面は打ち継ぎ接着剤を塗布して樹脂モルタルの左官仕上げにより不陸調整を行い、硬化前に滑り板を配置して馴染ませる。

ゴム板を滑り板の上に配置してボルトで固定し、仕上げ工として座グリ部へのシール材充填・養生ゴムの配置、ゴム板縁部へのシール材充填・バックアップ材配置を行い完了となる。

b) 切り欠き部後埋め材（モルタル）の圧縮強度試験

夜間 4～5 時間／日の施工時間の制約から、切り欠き部の後埋めに用いるモルタルは、打設完了後 2～3 時間程度で航空機荷重に耐えうる圧縮強度を発現している必要がある。よって、本試験ではモルタルの若材齢圧縮強度について確認した。

表-12 に供試体概要を示す。供試体はφ50×100mm の円柱供試体とし、試験材齢は 2 時間・3 時間・1 日（第 2 案目地構造のみ）・3 日・28 日とした。供試体の採取は、特に若材齢時の試験結果にばらつきが予想されたため、材齢 2 時間と 3 時間については各 5 体ずつとし、最大値と最小値を控除するものとした。

なお、第 2 案目地構造に用いる樹脂モルタルの品質管

理試験は 40×40×160mm の角柱供試体を用いた曲げ圧縮強度(JIS R 5201)によることが一般的であるが、現場品質管理への適用性や試験方法の統一性を考慮して、φ50×100mm の円柱供試体を用いた。一般に、円柱供試体による圧縮強度は角柱供試体による曲げ圧縮強度と比較して安全側の評価となる。

c) 荷重支持性能確認試験

表-13 に供試体一覧を示す。目地構造の荷重支持性能は、設計荷重時の挙動（鉛直変位やひずみ）および破壊強度の設計荷重に対する安全率、繰り返し载荷による疲労耐久性などにより確認することとした。

① 破壊試験

図-13 に破壊試験装置図、図-14 に試験ステップを示す。本試験では、目地遊間量を 120mm とし鉛直载荷試験機の载荷フレームおよび 10tf 手動ジャッキを用いて载荷し、破壊強度に対する設計荷重の安全性を確認した。試験は所定の設計荷重（Case 1, Case2）を载荷・除荷して復元性を確認した後、目地遊間部だけに载荷する Case 1 の载荷板を用いて破壊に至るまで载荷した。第 2 案目地構造は明確な破壊性状を示さないため、荷重支持板の中央 3 点で計測したひずみの平均値が降伏ひずみに達した時点を破壊とした。

② 疲労試験

図-15 に破壊試験装置図、図-16 に試験ステップを示す。本試験では、破壊試験と同様に作製した供試体に疲労試験機を用いて繰り返し荷重を载荷し、目地構造の疲労耐久性を確認した。

試験は、所定の設計荷重(Case 1, Case 2, Case 3)をアクチュエーターの制御が有効な 0.1Hz～1.0Hz 範囲で適宜調整し、繰り返し回数 15000 回を上限として载荷した。

繰り返し载荷による荷重支持性能の劣化程度を確認するため、第 1 案目地構造の Case 1 では 500～1000 回に 1 回程度の頻度で、その他は原則 15000 回の繰り返し载荷前後に静的载荷を実施した。第 2 案目地構造は、15000 回完了時点でも破壊しなかったため、続けて破壊試験を実施した。

第 1 案目地構造の No.1F-3 供試体を用いた载荷板(A)は、加圧面の 4 辺を R=3mm 程度で面取りを行っていたが、伸縮ゴムへの食い込みや削り現象など実際には有り得ない挙動を示した。よって、No.1F-1 および No.1F-2 供試体では、面取り寸法を R=8mm 程度へ拡大し、加圧面に加えて高さ方向の 4 辺に対しても面取りを行った载荷板(B)を用いることとし、繰り返し载荷中については直下にグリスを塗布したゴム板(t=5mm)を敷いて、荷重以外の要因による損傷を抑制した。

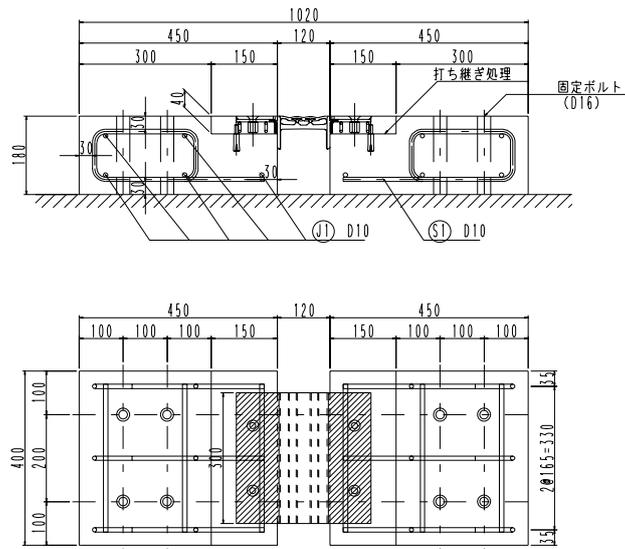
Case 3 は、目地構造を調整台ごと目地直角方向へ移動し、コンクリートブロックの端部に载荷されるよう調整した。第 1 案目地構造は载荷板が不等辺山形鋼と無収縮モルタルを跨ぐため、载荷板の直下にゴム板 (t=5mm) を挟み、第 2 案目地構造は载荷板直下に固定ボルトがこないように目地延長方向にも移動させた。

d) 伸縮性能確認試験・段差吸収性能確認試験（第 2 案目地構造 圧縮側）

第 2 案目地構造は、基礎試験 1 の試験結果から圧縮時の伸縮性能および段差吸収性能を再度確認する必要があると判断し、荷重支持性能確認試験終了後の供試体を用いて図-17 に示す伸縮性能確認試験および段差吸収性能確認試験を簡易的に実施することとした。

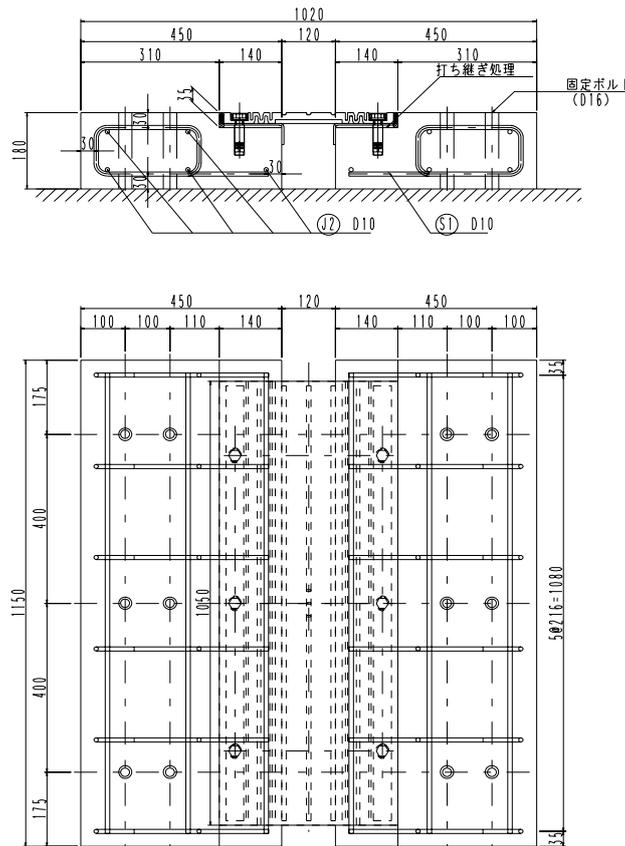
本目地構造は、最大目地遊間量 120mm に対して標準形状で据え付けたため、そこから 40mm の圧縮を加えた。また、段差の有無による挙動の違いを明確にし、想定を越える段差が生じた場合の挙動を確認するため、供試体に与える段差を 25mm とした。

なお、供試体作製時の滑り板の設置精度の問題から、荷重支持板と滑り板の間に 2～3mm 程度の隙間が生じていたが、隙間が無くなるようにコンクリートブロックの傾きを調整した後に試験を実施した。



※供試体の長さは、皿ネジボルト間隔の2倍の300mmとした。

図-11 第1案目地構造 供試体概要図



※供試体の長さは、実製品の計画寸法の1050mmとした。

※本目地構造は、目地遊間量120mmに対して、標準形状で据え付けた。

図-12 第2案目地構造 供試体概要図

表-9 コンクリートの品質管理試験結果

呼び強度 (N/mm ²)	スランブ (cm)	粗骨材の 最大寸法 (mm)	セメントの種類 による記号	水セメント比 (%)	空気量 (%)	コンクリート 温 度 (℃)	圧縮強度	
							材齢7日 (N/mm ²)	材齢28日 (N/mm ²)
40	12 (14.5)	20	H	37.0	4.5 (3.6)	(28.5)	(48.7)	(57.7)

※ () 内は実測値

表-10 無収縮モルタル配合表 (速硬型)

水 (kg/袋)	粉 体 (kg/袋)
4.5 (4.2~4.9)	25.0

※ () 内は規定水量範囲

表-11 樹脂モルタル配合表 (速硬型)

水 (kg/袋)	粉 体 (kg/袋)	シーラー (kg/袋)
3.0 (2.8~3.0)	25.0	1.0

※ () 内は規定水量範囲

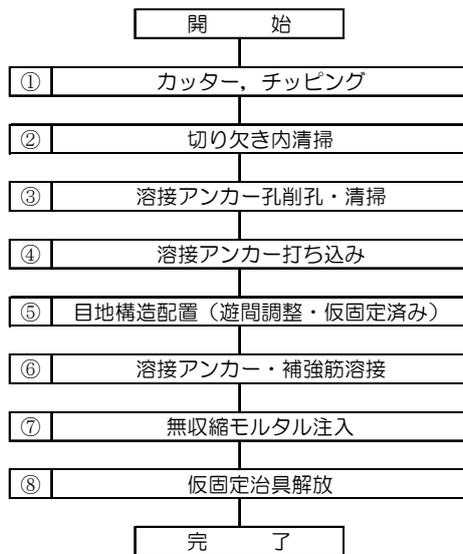


図-12 目地構造据え付け手順 (第1案目地構造)

表-12 モルタル圧縮強度試験 供試体概要

目地構造	使用材料	供試体数 (φ50×100)				
		2時間	3時間	1日	3日	28日
第1案	無収縮モルタル	5	5	---	3	3
第2案	樹脂モルタル	5	5	3	3	3

表-13 荷重支持性能確認試験 供試体一覧

(1) 破壊試験

目地構造	供試体種別	供試体番号	Case 1 載荷板種別	Case 1 設計荷重			Case 2 設計荷重			破壊荷重		
				載荷板寸法		載荷荷重 (kN)	載荷板寸法		載荷荷重 (kN)	載荷板寸法		載荷荷重 (kN)
				幅 (mm)	長さ (mm)		幅 (mm)	長さ (mm)		幅 (mm)	長さ (mm)	
第1案	改良型	No. 1B	A	80	115	6.67	130	220	16.9	80	115	破壊まで
第2案	5山	No. 2B	A									

(2) 疲労試験

目地構造	供試体種別	供試体番号	Case 1 載荷板種別	Case 1 設計荷重			Case 2 設計荷重			Case 3 設計荷重			破壊荷重		
				載荷板寸法		載荷荷重 (kN)	載荷板寸法		載荷荷重 (kN)	載荷板寸法		載荷荷重 (kN)	載荷板寸法		載荷荷重 (kN)
				幅 (mm)	長さ (mm)		幅 (mm)	長さ (mm)		幅 (mm)	長さ (mm)		幅 (mm)	長さ (mm)	
第1案	改良型	No. 1F-1	B	80	115	6.67	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		No. 1F-2	B				---	---	---	---	---	---	---	---	---
		No. 1F-3	---	---	---	---	130	220	16.9	130	220	39.5	---	---	---
第2案	5山	No. 2F	A	80	115	6.67	130	220	16.9	130	220	39.5	80	115	破壊まで

- ※ 供試体種別 : 改良型=基礎試験1にて、加硫接着部の接着長を伸ばした。
5山=基礎試験1にて、可動部のゴム山の数をも3山から5山へ変更した。
- ※ Case 1載荷板種別: A=載荷板の加圧面4辺の角部の面取りがR=3(mm)程度
B= " と高さ方向4辺の角部の面取りがR=8(mm)程度
- ※ 繰返載荷回数上限: 15000回
- ※ 測定項目 : 荷重・変位(4方向)・鋼板ひずみ(第2案目地構造のみ3点)・外観
- ※ No. 1F-3供試体は、Case 1設計荷重を載荷板種別(B)で載荷した結果、載荷板角部が伸縮ゴムへ食い込んで破壊したため、Case 1設計荷重に対するデータは不採用とした。

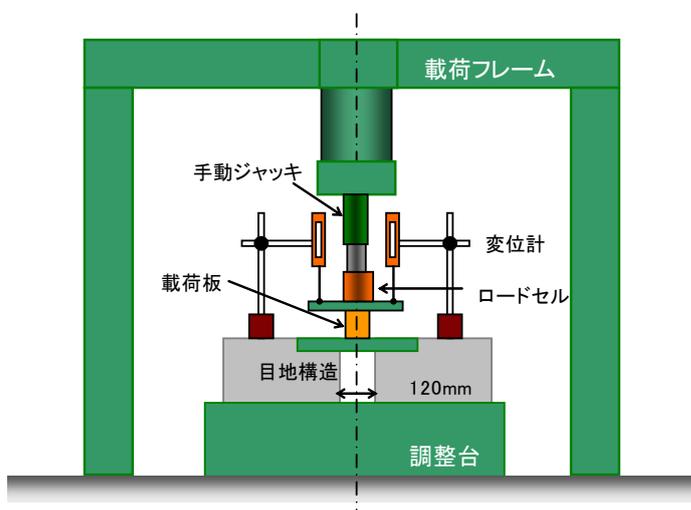


図-13 破壊試験装置図

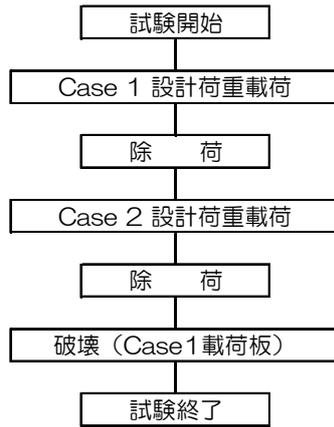


図-14 破壊試験 試験ステップ

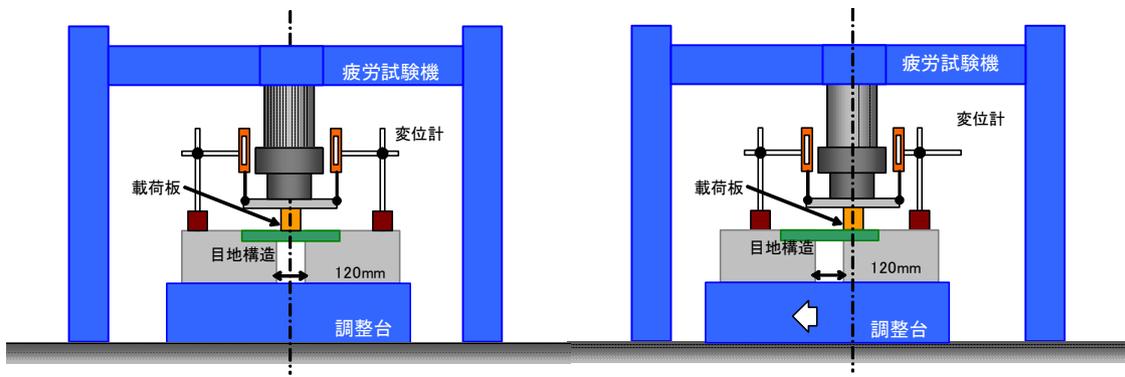


図-15 疲労試験装置図

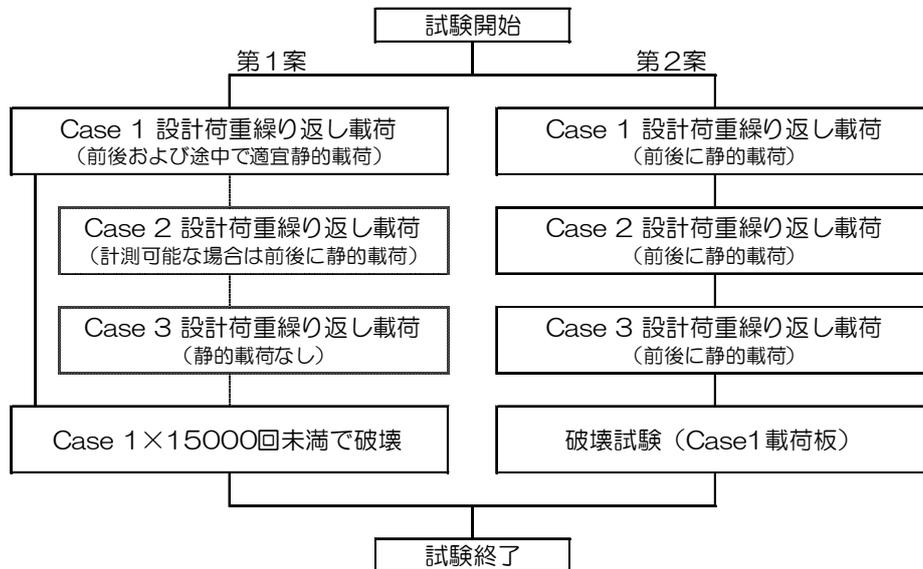


図-16 疲労試験 試験ステップ

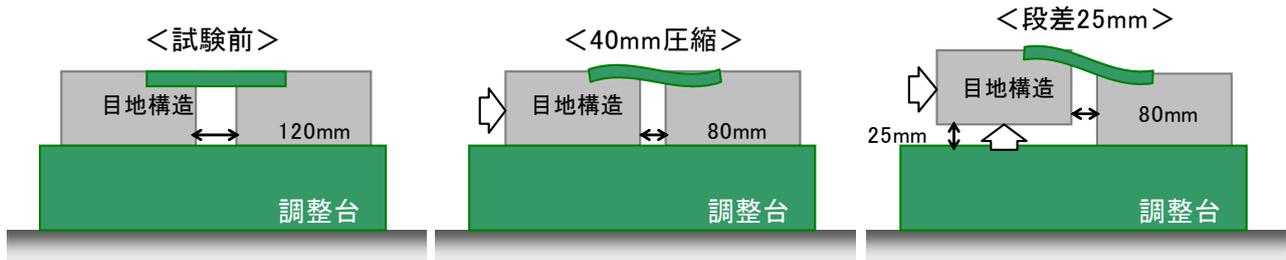


図-17 伸縮性能確認試験・段差吸収性能確認試験（圧縮側）

2.6 基礎試験 2 結果

(1) 第1案 目地構造

a) 施工性確認試験結果

① 溶接アンカーと補強筋との溶接作業性

写真-3 に溶接部の拡大写真を示す。溶接作業空間が非常に狭小であり、作業に手間取る状況が見られた。また、溶接アンカーと補強筋の間に離れが生じて溶接が困難な箇所があったため、鉄筋を配置して対処した。

以上より、翼筋や通し筋を追加して溶接作業性の向上を図るのが良いと考えられる。

② 無収縮モルタルの可使時間・充填性

写真-4 にモルタル充填状況を示す。本試験環境下での可使時間は 20～30 分程度であったが、その間に流下試験等の品質管理試験を行ったため注入中に急激に硬化が進行し、一部の供試体で未充填箇所が生じた。

以上より、注入状況の確認と空気抜きを目的に、目地構造上面に空気抜き孔を設けるのが良いと考えられる。また、規定範囲内であることを条件に水量を増やすことも有効な手段であると思われる。

b) 無収縮モルタルの圧縮強度試験結果

表-14 に品質管理試験結果を示す。材齢 2 時間以降の圧縮強度は航空機の最大タイヤ接地圧 $1.5\text{N}/\text{mm}^2$ に対して 10 倍以上の安全率を有しており、圧縮強度の発現性に問題はなかった。

ただし、本試験環境は外気温が高く圧縮強度の発現に有利であったが、実施工においては施工時の気象条件を考慮した上で使用する無収縮モルタルを選定するのがよい。



写真-3 溶接部



写真-4 モルタル充填状況

表-14 無収縮モルタルの品質管理試験結果

温度				流下時間		
外気温 (°C)	水温 (°C)	粉体温度 (°C)	練混温度 (°C)	実測値 (秒)	平均値 (秒)	規格 (秒)
28	26	27	30	6.58 6.59 7.40	6.86	8±2

圧縮強度					航空機荷重
2時間 (N/mm2)	3時間 (N/mm2)	1日 (N/mm2)	3日 (N/mm2)	28日 (N/mm2)	最大タイヤ接地圧 (N/mm2)
15.8	18.0	---	45.8	45.2	1.5

※ 材齢2・3時間の値は、最大最小の2体を除いた残り3体の平均値

表-15 荷重支持性能確認試験結果一覧

(1) 破壊試験

供試体 番号	Case 1 載荷板 種別	Case1		Case2		破壊荷重			
		6.67kN		16.9kN		6.67kN	最大荷重		
		変位 (mm)	復元性	変位 (mm)	復元性	変位 (mm)	荷重 (kN)	変位 (mm)	復元性
No. 1B	A	30	良好	1	良好	30	20	80	良好

(2) 疲労試験

供試体 番号	Case 1 載荷板 種別	Case 1								Case 2	Case 3
		6.67kN								16.9(kN)	39.5kN
		1回		3000回		3500回	3951回	4000回	6087回	15000回	15000回
変位(mm)		外観		変位(mm)		外観		外観	外観	外観	外観
No. 1F-1	B	42	OK	50	OK	---	微小亀裂	試験終了	---	---	---
No. 1F-2	B	39	OK	49	OK	微小亀裂	---	亀裂進展	試験終了	---	---
No. 1F-3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	異常なし	異常なし

表-16 樹脂モルタルの品質管理試験結果

温度			
外気温 (°C)	水温 (°C)	粉体温度 (°C)	練混温度 (°C)
24	23	23	26

圧縮強度					航空機荷重
2時間 (N/mm2)	3時間 (N/mm2)	1日 (N/mm2)	3日 (N/mm2)	28日 (N/mm2)	最大タイヤ接地圧 (N/mm2)
3.6	5.4	18.0	20.5	40.9	1.5

※ 材齢2・3時間の値は、最大最小の2体を除いた残り3体の平均値

c) 荷重支持性能試験結果

表-15 に試験結果一覧を示す。以下に破壊試験および疲労試験の結果をそれぞれ記す。

① 破壊試験

- ・小型車両を模擬した Case 1 設計荷重時の鉛直変位は約 30mm であり、異常はみられなかった。また、除荷後は載荷板外周部に沿った跡が薄く残ったものの、復元性は良好であった。
- ・大型機種を模擬した Case 2 設計荷重時の鉛直変位は約

1mm であり、異常はみられなかった。また、除荷後は載荷板外周部に沿った跡が薄く残ったものの、復元性は良好であった。

- ・ Case 1 の載荷板を用いた破壊試験では、設計荷重の約 3 倍の 20.5kN まで載荷した結果、鉛直変位は 81.4mm に達するものの剥離等の異常はみられなかった。また、除荷後は載荷板角部の食い込みにより傷がついたが、復元性は良好であった。

② 疲労試験

- ・ Case 1 設計荷重の繰り返し 1 回目の鉛直変位は 39～42mm であり、破壊試験に比較して大きな値となった。これは載荷板の面取り寸法を大きくしたことにより、載荷が集中荷重側へシフトしたためと考えられる。
- ・ Case 1 設計荷重の繰り返し 3000 回目の鉛直変位は 49～50mm であり、1 回目と比較して 10mm 程度増加したものの異常はみられず復元性も良好であった。一方 3500 回以上では、上側ゴムの谷部に極微少な亀裂が確認された。
- ・ Case 2 および航空機を模擬した Case 3 設計荷重に対しては 15000 回の繰り返し載荷を行ったが、目地構造や無収縮モルタル・コンクリートブロックに異常はみられなかった。

以上より、本目地構造は小型車両の荷重に対して十分な破壊安全性と 3000 回以上の疲労耐久性を有している。なお、実際のタイヤ形状は円形であるため、鉛直変位が増すごとに接地面積が増加して荷重が分散することや、車両走行中の負荷時間が極めて短いことを考慮すれば、より高い疲労耐久性を期待できると考えられる。また、大型機種や航空機の荷重に対しても問題になることはないと考えられる。

(2) 第 2 案 目地構造

a) 施工性確認試験結果

① 打ち込みアンカー位置の精度

打ち込みアンカーの配置精度を考慮してチップング前にコンクリートブロックの削孔を行ったが、滑り板のボルト孔と微妙に整合せず、滑り板のボルト孔を開け直す必要があった。

② 樹脂モルタルの取り扱い（練り混ぜ・機材の洗浄等）

樹脂モルタルの練り混ぜ等に用いた機材は溶剤で洗浄する必要があり、廃液の処理を含めて作業が煩雑であった。

③ 樹脂モルタル左官仕上げ面と、滑り板間の空隙の有無

樹脂モルタルの左官仕上げ完了後、直ちに滑り板を設置したが、接触面の馴染みが十分とれず、滑り板の下面に空隙が生じた。また、滑り板を精度良く据え付けることが困難であり、荷重支持板と滑り板の間に 2～3(mm) 程度の隙間が生じた。よって、新たに据え付け治具等を考案する必要があると考えられる。

④ 座グリ部シールの硬化時間

固定ボルトの締め付け完了後、座グリ部にシール材を充填したが、12h 以上経過した時点でも硬化が十分でな

く、24h 経過後によりやく硬化を確認できた。

⑤ その他

シール材充填箇所近辺のマスキングやプライマー塗布が必要であり、作業工程が多く煩雑であった。

b) 樹脂モルタルの圧縮強度試験（φ50×100mm）

表-16 に品質管理試験結果を示す。材齢 2 時間以降の圧縮強度は無収縮モルタルには劣るものの、航空機の最大タイヤ接地圧 1.5N/mm² の 2 倍以上の安全率を有しており、圧縮強度の発現性に問題はなかった。ただし、本試験環境は外気温が高く圧縮強度の発現に有利であったが、実施工においては施工時の気象条件を考慮した上で、別途試験を実施するのが望ましいと考えられる。

c) 荷重載荷試験

表-17～表-19 に試験結果を示す。以下に破壊試験及び疲労試験の結果をそれぞれ記す。

① 破壊試験

- ・ 小型車両を模擬した Case 1 設計荷重時の荷重支持板ひずみは許容ひずみ 700 μ（許容曲げ引張応力度 140N/mm² として算出）に対して 237 μ であり、安全率は 2.9 以上であった。可動部のゴムが若干横方向へ膨らむ傾向がみられたが、鉛直変位は 2mm 程度に抑えられており、除荷後の復元性も良好であった。
- ・ 大型機種を模擬した Case 2 設計荷重時の荷重支持板ひずみは許容ひずみ 700 μ に対して 471 μ であり、安全率は 1.4 以上であった。可動部のゴムの横方向への膨らみは Case 1 に比較して大きくなったものの、鉛直変位は同等であり、除荷後の復元性も良好であった。
- ・ Case 1 の載荷板を用いた破壊試験では、荷重支持板ひずみが降伏ひずみ 1175 μ（降伏応力 235N/mm² として算出）に達した 30.8kN まで載荷したが、鉛直変位は 10mm 未満であった。ただし、可動部のゴムは除荷後の復元性は良好なものの、横方向への膨らみに加えて上方向へ大きく盛り上がる現象がみられた。

② 疲労試験

- ・ Case 1 設計荷重の繰り返し回数を上限の 15000 回としたが、その前後に実施した静的載荷試験の鉛直変位・荷重支持板ひずみに大きな差はなかった。載荷板外周に沿った跡が残ったものの、除荷後の復元性は良好であった。
- ・ Case 2 設計荷重の繰り返し回数を上限の 15000 回としたが、その前後に実施した静的載荷試験の鉛直変位・荷重支持板ひずみに大きな差はなかった。載荷板と可動部のゴムが接する箇所に摩耗が生じたものの、除荷後の復元性は良好であった。
- ・ 航空機を模擬した Case 3 設計荷重の繰り返し回数を上

限の 15000 回としたが、繰り返し 1 回目から座グリ部の養生ゴムが浮き上がり、15000 回完了時点では載荷板直下の養生ゴムが剥がれ、その下のシール材が破壊されていた。

d) 伸縮性能確認試験・段差吸収性能確認試験（圧縮側）

表-20 に伸縮性能確認試験・段差吸収性能確認試験の試験結果一覧を示す。

No.2B 供試体（破壊試験完了後）は段差の有無により 2 ケースの圧縮を行った。段差を設けない場合は、圧縮量が 40mm に到達する直前に可動部が屈曲し、段差を 25mm とした場合は早期に可動部が屈曲した。

No.2F 供試体（基礎試験 1 および疲労試験終了後）は段差を設けずに圧縮を行った。圧縮量が 40mm に到達しても可動部の屈曲は生じなかったが、可動部には約 10mm の盛り上がりが生じた。

両供試体ともに、一度可動部に屈曲現象が生じると遊間量を広げない限りは所定の位置へ押し下げることが困難であった。

表-17 (a) 荷重支持性能確認試験 (破壊試験) No.1B

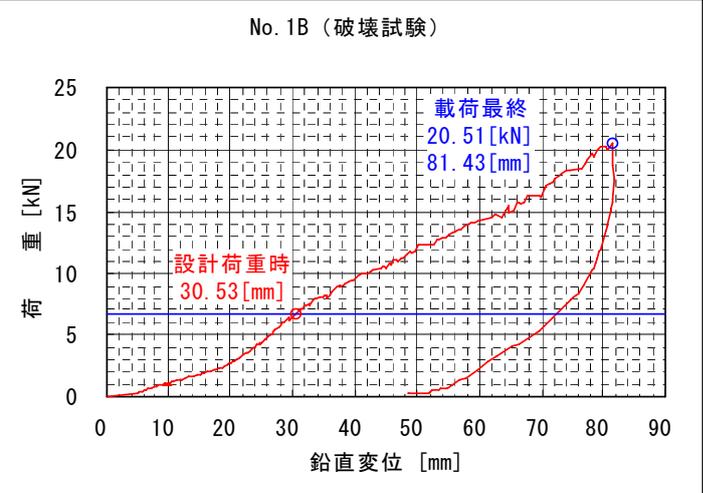
No. 1B供試体			
試験装置	鉛直荷重試験機載荷フレーム 10tf手動ジャッキ	形状	改良型供試体
載荷荷重	Case1: 載荷板 80 (mm) × 115 (mm), R=3 (mm)	遊間	120 (mm)
	Case2: 載荷板 130 (mm) × 220 (mm), R=3 (mm)		荷重 6.670 (kN)
	破壊: 載荷板 80 (mm) × 115 (mm), R=3 (mm)		荷重 16.874 (kN)
			荷重 20.510 (kN)
Case 1 設計荷重 6.670 (kN)			最大鉛直変位 約30 (mm)
	設計荷重時: 異常なし	荷重除荷後: 復元性良好	
Case 2 設計荷重 16.874 (kN)			最大鉛直変位 約 1 (mm)
	設計荷重時: 異常なし	荷重除荷後: 復元性良好	
破壊荷重 20.510 (kN)			
	最大荷重時: 異常なし	荷重除荷後: 復元性良好	
	<p>No. 1B (破壊試験)</p> 		設計荷重時 鉛直変位 30.5 (mm)
			最大荷重時 鉛直変位 81.4 (mm)

表-17 (b) 荷重支持性能確認試験 (破壊試験) No.2B

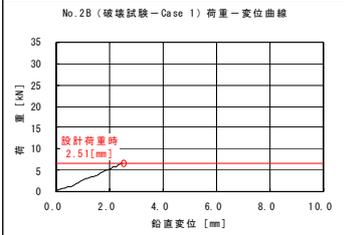
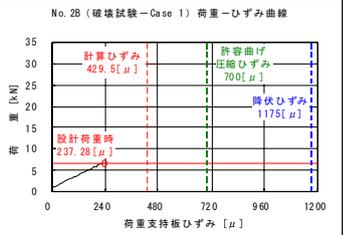
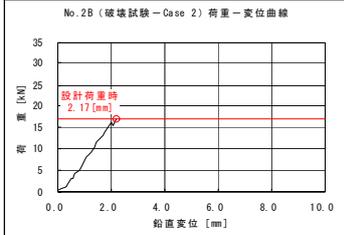
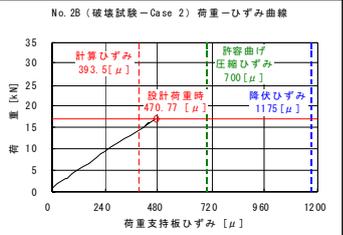
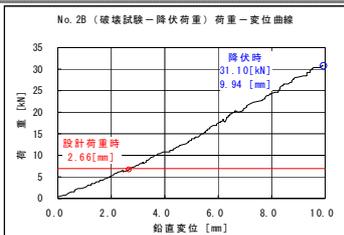
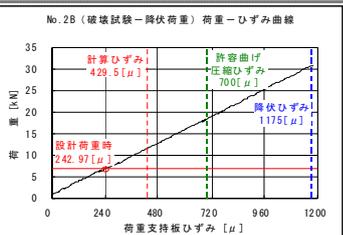
No. 2B供試体			
試験装置	鉛直荷重試験機載荷フレーム 10tf手動ジャッキ	形状	可動部5山供試体
載荷荷重	Case1: 載荷板 80(mm)×115(mm), R=3(mm) 荷重 6.670(kN)	遊間	120(mm)
	Case2: 載荷板 130(mm)×220(mm), R=3(mm) 荷重 16.874(kN)		
	破壊: 載荷板 80(mm)×115(mm), R=3(mm) 荷重 31.100(kN)		
Case 1 設計荷重 6.670 (kN)	 <p>No. 2B (破壊試験-Case 1) 荷重-変位曲線</p>	 <p>No. 2B (破壊試験-Case 1) 荷重-ひずみ曲線</p>	<p>設計荷重時</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉛直変位 2.5 (mm) ひずみ 237 (μ)
	 <p>設計荷重時: 可動部 横膨らみ小</p>	 <p>荷重除荷後: 復元性良好</p>	
Case 2 設計荷重 16.874 (kN)	 <p>No. 2B (破壊試験-Case 2) 荷重-変位曲線</p>	 <p>No. 2B (破壊試験-Case 2) 荷重-ひずみ曲線</p>	<p>設計荷重時</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉛直変位 2.2 (mm) ひずみ 471 (μ)
	 <p>設計荷重時: 可動部 横膨らみ大</p>	 <p>荷重除荷後: 復元性良好</p>	
破壊荷重 31.10 (kN)	 <p>No. 2B (破壊試験-降伏荷重) 荷重-変位曲線</p>	 <p>No. 2B (破壊試験-降伏荷重) 荷重-ひずみ曲線</p>	<p>設計荷重時</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉛直変位 2.7 (mm) ひずみ 243 (μ) <p>降伏時</p> <ul style="list-style-type: none"> 最大荷重 31.1 (kN) 鉛直変位 9.9 (mm) ひずみ 1175 (μ)
	 <p>降伏時: 可動部 上膨らみ大</p>	 <p>荷重除荷後: 復元性良好</p>	

表-18 (a) 荷重支持性能確認試験（疲労試験）No.1F-1

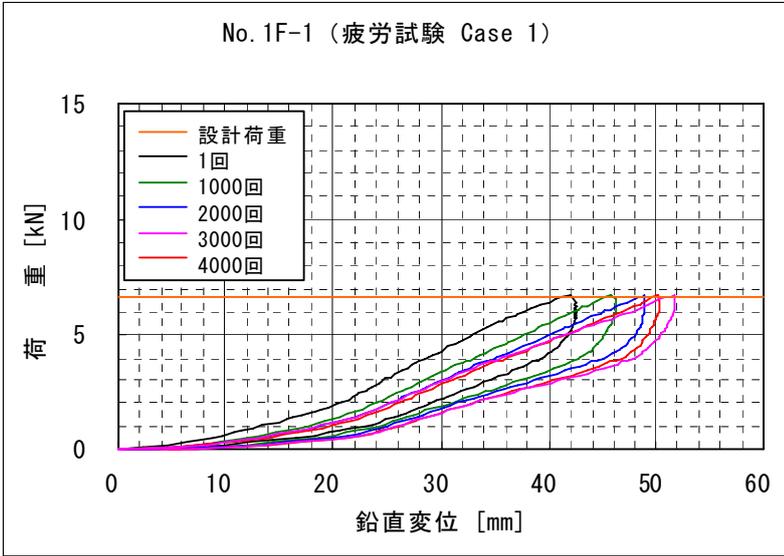
No. 1F-1 供試体			
試験装置	疲労試験機	形状	改良型供試体
		遊間	120 (mm)
載荷荷重	Case1 : 載荷板 (B) 80 (mm) × 115 (mm), R=8 (mm) 荷重 6.670 (kN) → 0.1 (Hz)		
載荷前		3951回	 上側ゴム谷部に微小な亀裂
3000回	 異常なし	最終 4000回	 4000回で試験終了
荷重変位 曲線の 変化	<p style="text-align: center;">No. 1F-1 (疲労試験 Case 1)</p>  <p style="text-align: right;">初 回 鉛直変位 約42 (mm) 3000回時 鉛直変位 約50 (mm)</p>		

表-18 (b) 荷重支持性能確認試験（疲労試験）No.1F-2

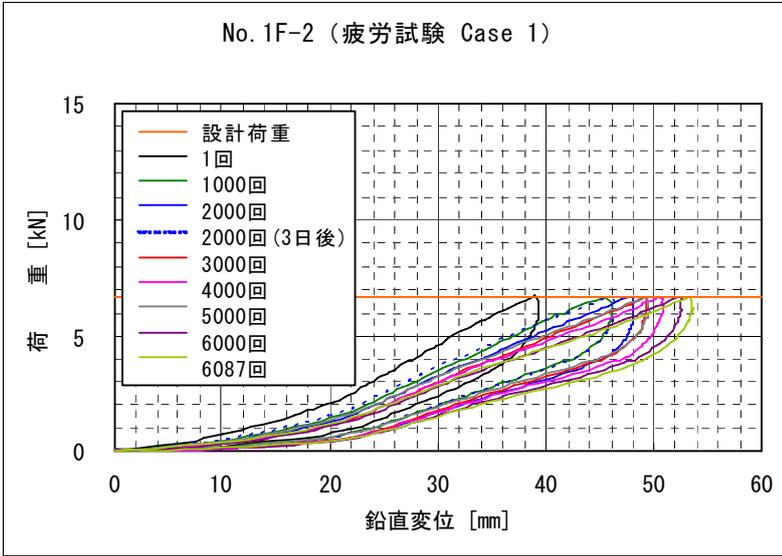
No. 1F-2供試体			
試験装置	疲労試験機	形状	改良型供試体
		遊間	120 (mm)
載荷荷重	Case1 : 載荷板 (B) 80 (mm) × 115 (mm), R=8 (mm) 荷重 6.670 (kN) → 0.1 (Hz)		
3000回		4000回	
	異常なし		亀裂が進展，箇所数も増加
3500回		最終 6087回	
	上側ゴム谷部に微少な亀裂		亀裂同士が繋がり上側ゴム貫通
荷重変位 曲線の 変化	<p style="text-align: center;">No. 1F-2 (疲労試験 Case 1)</p> 		<p>初 回 鉛直変位 約39 (mm)</p> <p>3000回時 鉛直変位 約49 (mm)</p>

表-18 (c) 荷重支持性能確認試験 (疲労試験) No.1F-3

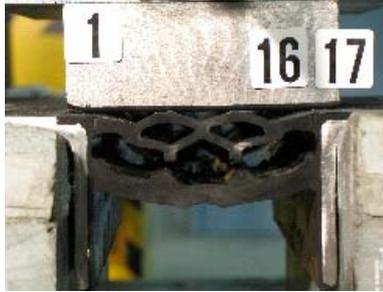
No. 1F-3供試体			
試験装置	疲労試験機	形状	改良型供試体
		遊間	120 (mm)
載荷荷重	Case2 :	載荷板 130 (mm) × 220 (mm), R=3 (mm)	荷重 16.874 (kN) → 1.0 (Hz)
	Case3 :	載荷板 130 (mm) × 220 (mm), R=3 (mm)	荷重 39.468 (kN) → 1.0 (Hz)
Case 2 16.874 (kN) × 15000回			
	載荷状況		異常なし
Case 3 39.468 (kN) × 15000回			
	載荷状況		異常なし

表-19 (a) 荷重支持性能確認試験（疲労試験）No.2F (Case1, Case2)

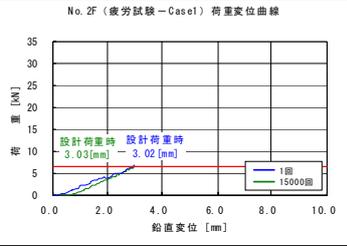
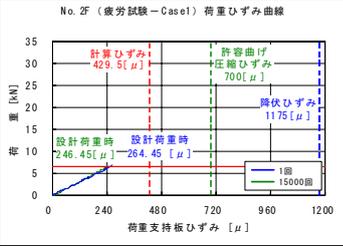
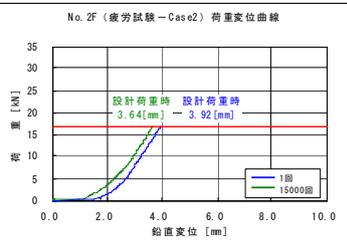
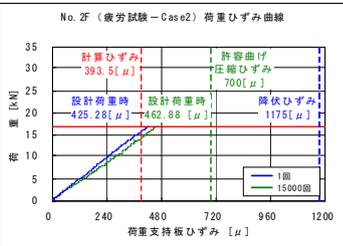
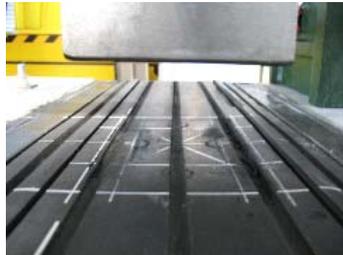
No. 2F供試体			
試験装置	疲労試験機		
形状	可動部5山供試体		
遊間	120 (mm)		
載荷荷重	Case1: 載荷板 (A) 80 (mm) × 115 (mm), R=3 (mm) 荷重 6.670 (kN) → 1.0 (Hz)		
	Case2: 載荷板 130 (mm) × 220 (mm), R=3 (mm) 荷重 16.874 (kN) → 1.0 (Hz)		
Case 1 6.670 (kN)	  <p>設計荷重時 破壊試験と同様に、可動部ゴムが横方向へ若干膨らんだ。</p>	  <p>荷重除荷後 載荷板外周に沿って跡が残った。</p>	<p>設計荷重時</p> <p><1回></p> <ul style="list-style-type: none"> 鉛直変位 3.0 (mm) ひずみ 264 (μ) <p>↓</p> <p><15000回></p> <ul style="list-style-type: none"> 鉛直変位 3.0 (mm) ひずみ 246 (μ)
	Case 2 16.874 (kN)	  <p>設計荷重時 破壊試験と同様に、可動部ゴムが横方向へ比較的大きく膨らんだ。</p>	  <p>荷重除荷後 載荷板と可動部が接する箇所に摩耗が生じた。</p>

表-19 (b) 荷重支持性能確認試験（疲労試験）No.2F (Case3, 破壊)

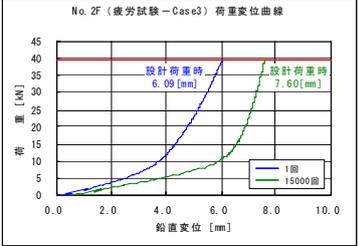
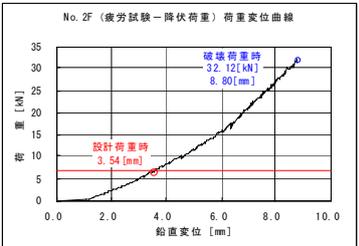
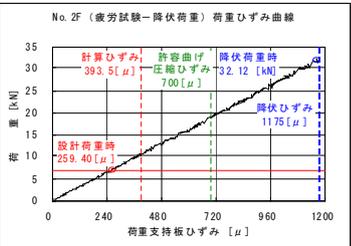
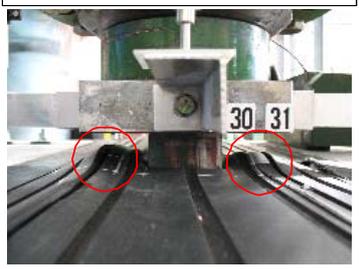
No. 2F供試体	
試験装置	疲労試験機
	形状 可動部5山供試体 遊間 120 (mm)
載荷荷重	Case3: 載荷板 130 (mm) × 220 (mm), R=3 (mm) 荷重 39.468 (kN) → 1.0 (Hz)
	破壊: 載荷板 (A) 80 (mm) × 115 (mm), R=3 (mm) 荷重 32.120 (kN)
Case 3 39.468 (kN)	 <p>設計荷重時 <1回> ・鉛直変位 6.0 (mm)</p> <p>↓</p> <p><15000回> ・鉛直変位 7.6 (mm)</p>  <p>設計荷重時 載荷1回目から載荷板付近の養生ゴムが浮き上がった。</p>  <p>荷重除荷後 載荷板直下の養生ゴムが剥がれ、シール材充填部が破壊した。</p>
	  <p>設計荷重時 ・鉛直変位 3.5 (mm) ・ひずみ 259 (μ)</p> <p>降伏時 ・最大荷重 32.12 (kN) ・鉛直変位 8.8 (mm) ・ひずみ 1175 (μ)</p>  <p>破壊荷重 32.12 (kN)</p> <p>設計荷重時 破壊試験と同様に、可動部ゴムが上方向へ大きく膨らんだ。</p>  <p>荷重除荷後 載荷板と可動部が接する箇所に摩耗が生じた。</p>

表-20 伸縮性能確認試験・段差吸収性能確認試験（圧縮側）試験結果一覧

	No. 2B供試体		No. 2F供試体
	圧縮40 (mm)	段差25 (mm) + 圧縮40 (mm)	圧縮25 (mm)
試験前			
		※段差25 (mm) の状態	
圧縮 40 (mm)			
	可動部屈曲	早期に可動部屈曲	可動部に盛り上がり
	可動部屈曲	早期に可動部屈曲	可動部に盛り上がり

2.7 まとめ

基礎試験の各段階においては、新たに得られた知見を直ちに改良案として反映させた。これにより、設計条件に挙げた各性能のうち、十分満足させることができた項目がある一方で、相当な改良が必要となる課題も明らかとなったため、走行載荷試験の開始前に1案に絞ることとした。表-21、表-22に両目地構造の比較表を示す。

(1) 第1案目地構造

- ① 本目地構造は段差5mmを設けた状態で2000回、設けない状態と合わせて合計6000回の伸縮挙動に対して追従することができ、伸縮性能および段差吸収性能に優れている。
- ② 破壊を決定づける小型車両から目地遊間部に受ける荷重に対しては、不等辺山形鋼に加硫接着された伸縮ゴムが支持する構造であるが、十分な破壊安全率と約3000回の疲労耐久性が確認された。なお、実際のタイヤ形状や、極めて短い負荷時間、破壊状態と判定した上側ゴム谷部の亀裂が微小であることを考慮すれば、それ以上の繰り返し回数に対応できると考えられる。また、大型機種や航空機から受ける荷重に対しても特に異常はみられず、十分な荷重支持性能を有して

いる。

- ③ 施工性については、目地構造固定時の溶接作業性や無収縮モルタルの充填性に課題がみられたが、それぞれ翼鉄筋や通し筋の追加、空気抜き孔の追加などによって対処可能であると考えられる、

(2) 第2案目地構造

- ① 基礎試験1において改良を施した伸縮ゴム可動部の浮き上がり現象が基礎試験2においても発生し、伸縮性能および段差吸収性能に問題があるため、可動部の形状を抜本的に変更する必要がある。
- ② 小型車両や大型機種から受ける荷重に対しては目地遊間を跨ぐ鋼板が支持する構造であるため、荷重支持性能に優れている。一方、航空機から受ける荷重に対しては、座グリ部の養生ゴムの剥がれや充填したシーリング材の破壊が確認されたため、座グリ部の構造を見直す必要がある。
- ③ 施工性については、工程が多く各作業内容が煩雑であったため、施工時間の制約を考慮して合理的な施工方法を検討するのが望ましいと考えられる。また、アンカーボルト孔や滑り板・荷重支持板の配置精度など、品質に大きく関わる点でも課題がみられた。

(3) 総合評価

第2案目地構造は、伸縮性能に関する問題に対して抜本的な変更が必要であり、荷重支持性能や施工性の面でも課題があることを考慮すると、その改良範囲が多岐に渡るとともに相当な時間が必要になると予想された。よって、第2案目地構造は基礎試験2をもって開発を終了することとした。第1案目地構造は基礎試験結果を反映した改良品を用いて走行載荷試験を実施することとした。

表-21 目地構造比較表(第1案)

設計条件		第1案 目地構造	
(1)	版のはつり深さ	40 mm ※全高の制限	
(2)	設計移動量	± 40 mm	
(3)	最大目地遊間量	120 mm	
(4)	許容段差	5 mm	
(5)	設計荷重	Case 1 (小型車両)	80 × 115 × 0.725 = 6.670 kN
		Case 2 (大型機種)	130 × 220 × 0.590 = 16.874 kN
		Case 3 (航空機)	130 × 220 × 1.380 = 39.468 kN
(6)	施工性	クローズすることなく、夜間4~5時間で作業。	
(7)	維持管理性	点検頻度が少なく、交換が可能。	
※	その他施工条件	①PC版と緩衝版に段差がない。 ②PC版と緩衝版は健全または補修済み。 ③PC版と緩衝版下の空隙は、裏込めグラウトが施工済み。	
(1)	構造概要	目地遊間部の伸縮ゴムと、両側のアングルを加硫接着により一体化した構造である。舗装版の移動量は伸縮ゴムにより吸収し、目地遊間部に載荷される荷重は、軽微な荷重を上側ゴムが、それ以上の荷重を下側ゴムにより支持する。	
(2)	施工性能 (基礎試験2)	工種が少なく、熟練を要する作業がない。ただし、狭小な溶接作業空間やモルタルの充填性向上策が課題となったが対策可能である。(上図は対策済仕様)	
(3)	伸縮性能 (基礎試験1・基礎試験2)*1	伸縮性能に関する要求性能を満足しており、特に引張側は設計移動量に対して、4程度の破壊安全率を有する。一方、圧縮側は設計移動量が限界値である。	
(4)	段差吸収性能 (基礎試験1・基礎試験2)*1	段差を設けた状態で2000回、設けない状態との合計では6000回の伸縮に対しても、追従できる。	
(5)	荷重支持性能 (基礎試験1・基礎試験2)*2	静的載荷における破壊安全率は3程度を有しており、動的載荷の最大繰返し回数はCase1で3000回以上(破壊形式は上側ゴムの亀裂)の疲労耐久性を有する。剥離等の異常なし。(設計荷重時の鉛直変位は約30mm)	
静的載荷	① Case1 (小型車両) 荷重	剥離等の異常なし。(加硫接着部の端部で荷重を支持、鉛直変位は約1mm)	
	② Case2 (大型機種) 荷重	鉛直変位は80mm超となるものの、最大20kNの荷重に対しても剥離等の異常はなく、設計荷重に対して3程度の破壊安全率を有している。	
	③ Case1載荷板 破壊荷重 (静的載荷)	3000回以上では、上側ゴムに微少な亀裂が生じるが、加硫接着部は健全である。変位は初回約40mmから3000回完了時点で約50mmとなり、徐々に増加する。	
動的載荷	① 小型車両 (Case 1) 荷重	15000回完了時点でも剥離等の異常なし。	
	② 大型機種 (Case 2) 荷重	アングルおよび無収縮モルタル部で荷重を支持するが、15000回完了時点でもアングルや無収縮モルタルにひび割れ等の異常なし。	
	③ 航空機 (Case 3) 荷重	繰返し回数15000回に到達する前に、上側ゴムに亀裂が発生したため実施せず。	
(6)	維持管理性能	アングル・皿ボルトの防錆処理、皿ボルトの緩み止め材、取り付け・取り外し用の仮固定・遊間調整治具が計画されている。	
(7)	経済性 (概算工事費, 第1案を1.0とした場合)	1.0 ※材工一式	
(8)	総合評価	伸縮性能・段差吸収性能に優れる。荷重支持性能はCase1(小型車両)の繰返し載荷に対しても加硫接着部の損傷はなく、3000回以上の疲労耐久性を有している。また、第2案に比較して、施工性および経済性に優れる。	

表-22 目地構造比較表(第2案)

設計条件		第2案 目地構造		
(1)	版のはつり深さ	40 mm ※全高の制限		
(2)	設計移動量	± 40 mm		
(3)	最大目地遊間量	120 mm		
(4)	許容段差	5 mm		
(5)	設計荷重	Case 1 (小型車両)		80 × 115 × 0.725 = 6.670 kN
		Case 2 (大型機種)		130 × 220 × 0.590 = 16.874 kN
		Case 3 (航空機)		130 × 220 × 1.380 = 39.468 kN
(6)	施工性	クローズすることなく、夜間4~5時間で作業。		
(7)	維持管理性	点検頻度が少なく、交換が可能。		
※	その他施工条件	①PC版と緩衝版に段差がない。 ②PC版と緩衝版は健全または補修済み。 ③PC版と緩衝版下の空隙は、裏込めグラウトが施工済み。		
(1)	構造概要	目地遊間部の荷重支持板と、上面全体を覆うゴム板から構成される。舗装版の移動量は荷重支持板両側のゴム板可動部により吸収し、目地遊間部に載荷される荷重は、荷重支持板(鋼板)により支持する。		
(2)	施工性能 (基礎試験2)	工種が多く、各作業も煩雑である。アンカー孔の位置ずれ、モルタルなじみ不良、荷重支持板と滑り板の隙間、シール材の硬化時間などの課題に対する対策が必要である。		
(3)	伸縮性能 (基礎試験1・基礎試験2) *1	基礎試験1で対策を施した圧縮時の浮き上がり現象が、基礎試験2においても発生したため、伸縮(縮側)性能に対する改良が必要である。		
(4)	段差吸収性能(基礎試験1・基礎試験2) *1	圧縮時に生じる浮き上がり現象が、段差を設けた場合は、生じやすくなる傾向にある。		
(5)	荷重支持性能(基礎試験1・基礎試験2) *2	第1案に比較して、目地遊間部の荷重支持性能に優れるが、動的荷重のCase3において養生ゴム・シール材の破壊が認められ、座ぐり部の構造に改良が必要である。		
静的荷重	① Case1(小型車両) 荷重	設計荷重時の荷重支持板のひずみは、許容ひずみに対して2.9以上の安全率を有しており、鉛直変位も2(mm)程度である。		
	② Case2(大型機種) 荷重	設計荷重時の荷重支持板のひずみは、許容ひずみに対して1.4以上の安全率を有しており、鉛直変位も2(mm)程度である。		
	③ Case1載荷板 破壊荷重(静的荷重)	降伏ひずみ到達時の荷重は31kNであり、設計荷重に対して4.6程度の破壊安全率を有しているが、可動部のゴムが上方へ大きく盛り上がる現象がみられた。		
動的荷重	① 小型車両 (Case 1) 荷重	15000回完了時点で異常はなく、設計荷重時に生じるひずみは、初回と完了時点で大きな差はない。		
	② 大型機種 (Case 2) 荷重	15000回完了時点で異常はなく、設計荷重時に生じるひずみは、初回と完了時点で大きな差はない。		
	③ 航空機 (Case 3) 荷重	初回から養生ゴムにめくれが生じ、15000回完了時点ではシール材の破壊が確認され、座ぐり部の構造に改良が必要である。		
	④ Case1載荷板 破壊荷重(静的荷重)	降伏ひずみ到達時の荷重は32kNであり、動的荷重後も静的荷重と同程度の破壊安全率を有している。ただし、可動部ゴムの上方向への盛り上がりが見られた。		
(6)	維持管理性能	荷重支持板の防錆処理、固定ボルトのシール材による緩み止めが計画されている。交換時の遊間調整は、パール等により強制的に行う。		
(7)	経済性(概算工事費、第1案を1.0とした場合)	1.1 ※材工一式		
(8)	総合評価	Case3(航空機)に対して、座ぐり部の構造(養生ゴム・シール材)に改良が必要である。圧縮時に浮き上がり現象が発生し、伸縮(縮側)性能に対する改良が必要である。また、第1案に比較して、施工性および経済性に劣る。		

3. 締結ボルト構造の検討

本章では構造的対策として、図-18 に示すように PC 版の端部と緩衝版をそれぞれ枕版とボルトにて固定することにより、PC 版端部と緩衝版を一体化する構造についての検討結果を述べる。今回対象としている PC 版は場所打ちコンクリートによる舗装版であり、1 ユニットの寸法が 100m 程度に及ぶため、PC 版の温度変化に伴う伸縮は最大で 40mm 程度生じる可能性が考えられる。そのため本試験では、①温度変化による PC 版の伸縮が、版端部にボルトを配置しても問題なく作用するかの検討、②ボルト締結力、ボルトの配置間隔が、緩衝版と PC 版の一体化構造に及ぼす影響についての検討、③締結金具の構造・取り付け方法ならびにボルト締結力の管理方法、について実験的な検討を行った。

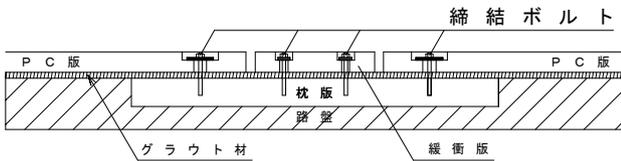


図-18 PC版端部・緩衝版の一体化構造

3.1 FEM 解析に基づく一体化構造の効果に関する検討

(1) 解析モデル及び解析条件

解析モデルは、図-19 に示すように PC 版をソリッド要素、ボルトをビーム要素とした。各版の境界面は NO TENSION 結合とし、境界面の引張力はボルトのみ荷重を伝達するものとした。物性値、拘束条件、荷重条件は、以下に示す通りとした。

a) 解析諸条件

コンクリート：3次元ソリッド要素（版厚方向3分割）

$$E=30000\text{N/mm}^2, \mu=0.1667$$

PC 鋼棒：ビーム要素

$$E=200000\text{N/mm}^2, \mu=0.3, \phi=24\text{mm}$$

X 方向：各版 2 本×3=6 本（図-2 解析モデル参照）

Y 方向（版幅方向）：解析の変動パラメータ

鋼材間隔=1000,2000,2500mm

（締結力 30kN 時のみ 500,1500,3000mm も解析）

締結力：0, 10, 20, 30, 40, 50kN

b) 拘束条件

版底面で、バネ定数 0.07N/mm^3

PC 版と枕版、緩衝版と枕版は NO TENSION 結合

c) 荷重条件

航空機荷重

B747-200B 満載時一脚：818kN（複々車輪）

荷重位置：

荷重位置は、図-20 に示す荷重位置で検討するものとした。図は鋼材間隔 1000mm のときであるが、間隔が変化した場合も脚の中心が鋼材と鋼材の間になるように荷重する。これは、付録-1 に示す荷重ケースの中から、PC 版の版端部で枕版との隙間が最大となる荷重位置から決定した。

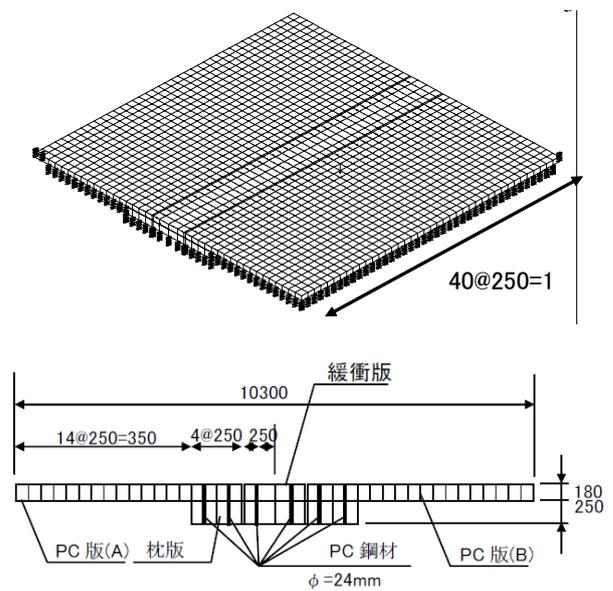


図-19 解析モデル図

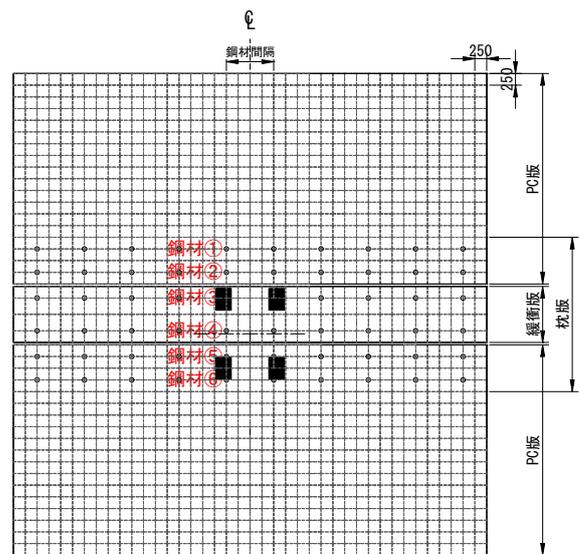


図-20 荷重位置

(2) 解析結果と考察

PC 鋼材の締結力と版の隙間の関係を図-21、表-23 にそれぞれ示す。(a)~(d)は図-22 に示す位置に生じた隙間の位置であり、(a)、(b)は、鋼材と鋼材の中間部、(c)、(d)は鋼材位置での隙間を示す。

FEM 解析の結果では、鋼材間隔 1m の場合(b)位置において若干の隙間が生じているが、それ以外の位置(a)、(c)、(d)では締結力が 20kN で PC 版と枕版に生じる隙間がゼロになる結果となった。鋼材間隔が 2m、2.5m についても、(b)位置では PC 版と枕版に若干の隙間が生じること、(a)位置においても締結力の違いにより 0.1~0.3mm の隙間が生じる結果となった。また鋼材間隔 2m、2.5m ともに、締結力が 30kN 以下の場合、締結力の減少に伴い PC 版と枕版の間に生じる隙間は大きくなる傾向にあり、締結力が 30kN 以上の場合、PC 版と枕版との間に生じる隙間の差が小さくなる傾向を示した。

図-23 は締結力 30kN と一定として、鋼材が無い場合、および鋼材間隔を 500mm~3000mm に変化させた際の、鋼材間隔と枕版と PC 版との間に生じた隙間の計算結果を示す。

(b)位置の隙間は締結力、鋼材間隔による影響が比較的小さい結果となった。これは、(b)位置での隙間が、締結ボルトによる一体化が不十分なのではなく、版のたわみによる PC 版と枕版の曲率の違いで発生することが原因だと考えられる。

これに対し、(a)位置では鋼材間隔が 1m であれば PC 版と枕版に生じる隙間は著しく小さいが、1.5m あたりからボルト間隔が大きくなるにつれて PC 版と枕版に生じる隙間も大きくなる傾向を示した。

今回の解析によりボルト締結力とボルト間隔が PC 版と緩衝版の一体化に及ぼす影響を検討した結果、ボルトの締結力は 30kN、鋼材間隔 1m 程度であれば、枕版と PC 版との間に生じる隙間を抑制できる可能性が高い結果となった。一方、鋼材間隔が大きくなるに従い、PC 版と枕版の間に生じる隙間は大きい傾向を示したが、鋼材間隔が 3m 程度であれば、何も対策を行わない構造に比べて、隙間は半分以下に抑制できる傾向を示した。PC 版と枕版に生じる隙間がどの程度で、グラウトの粉砕化、ポンピング現象が生じるかは不明であるものの、PC 版と枕版、緩衝版と枕版をボルトにより締結することにより、グラウトの粉砕化、ポンピング現象の抑制効果が期待できるものと考えられる。

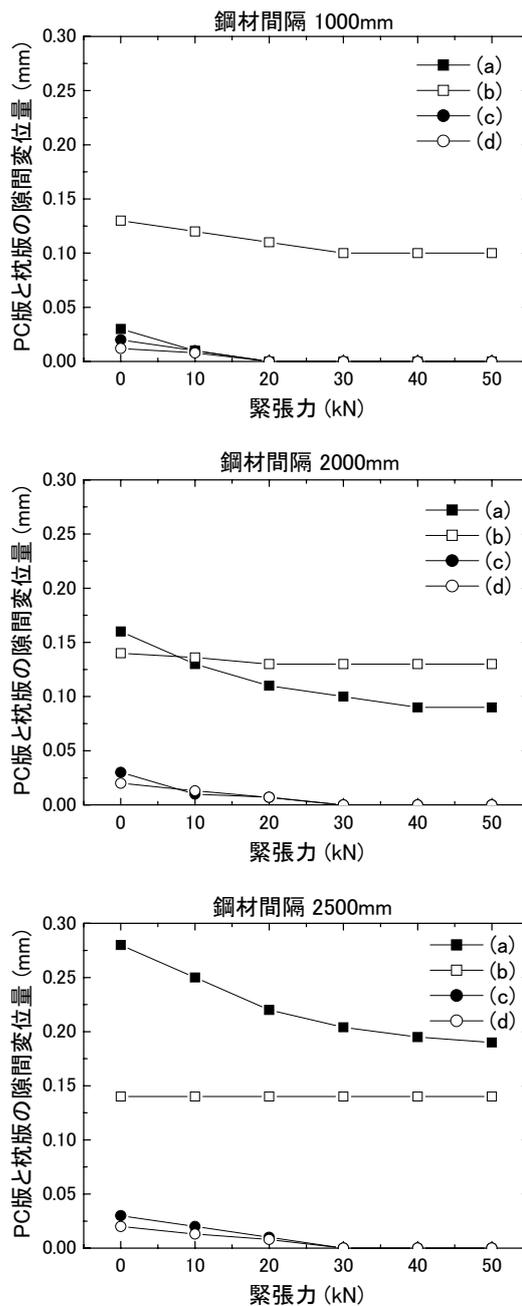


図-21 ボルト締結力と PC 版と枕版の隙間量の関係

表-23 PC版と枕版に生じた隙間の計算結果

鋼材間隔	位置	緊張力					
		0kN	10kN	20kN	30kN	40kN	50kN
1000mm	(a)	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	(b)	0.13	0.12	0.11	0.10	0.10	0.10
	(c)	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	(d)	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
2000mm	(a)	0.16	0.13	0.11	0.10	0.09	0.09
	(b)	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13
	(c)	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
	(d)	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
2500mm	(a)	0.28	0.25	0.22	0.20	0.20	0.19
	(b)	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
	(c)	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
	(d)	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00

(単位 : mm)

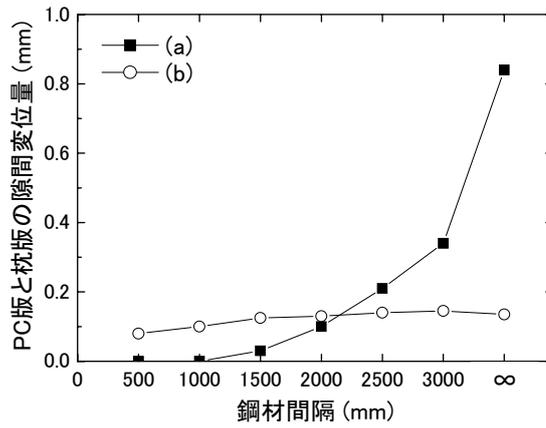
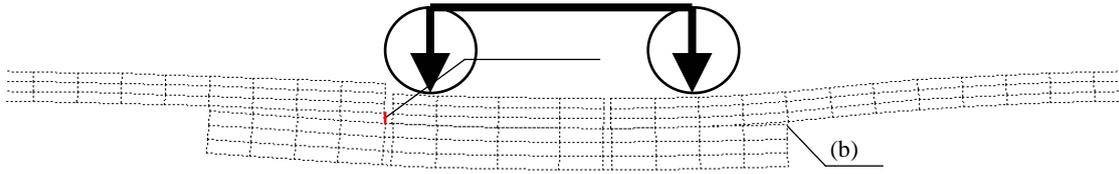


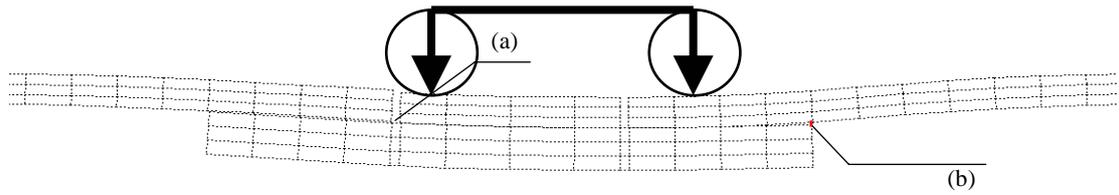
図-23 鋼材間隔と版の隙間の関係 (締結力 30kN)

A 断面：鋼材中間断面

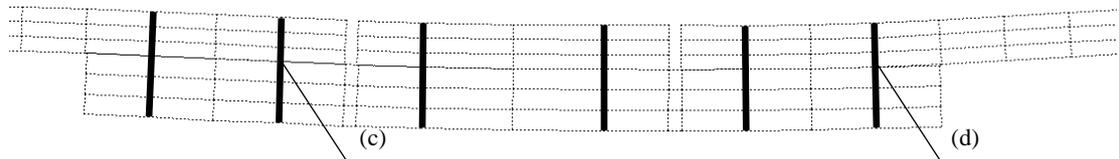
・鋼材間隔 2500mm, 緊張力 0kN 時



・鋼材間隔 1000mm, 緊張力 30kN 時



B 断面：鋼材断面



平面図

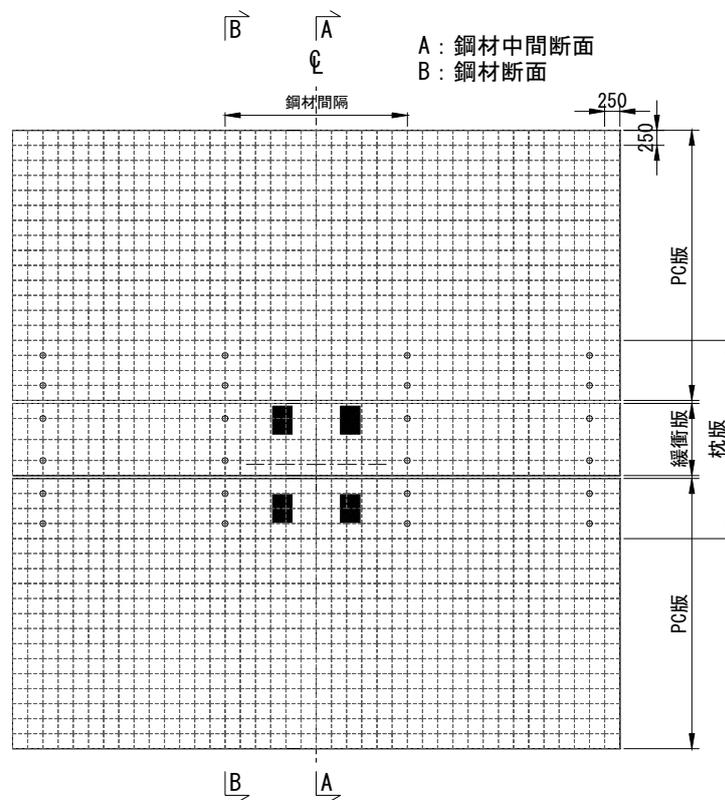


図-22 荷重位置と着目した隙間の位置

3.2 PC版の温度伸縮を模擬したスライド試験(1)

(1) スライド試験(1)の概要

前節の FEM 解析の結果より、締結力が 30kN~40kN 程度で PC 版と枕版に生じる隙間が抑制されることが確認された。一方で、本構造の適用対象となっている箇所は、場所打ち PC 版舗装であり、1 ユニットは最大で 100m 程度の寸法を有している。

その場合、温度伸縮に伴う移動量を下式により算出すると、場合によっては 40mm 程度の移動が生じてしまう可能性が考えられる。その場合、ボルトによる締結が PC 版の温度伸縮を拘束してしまう可能性や PC 版の温度伸縮による移動により、ボルトに変形が生じてしまう可能性が考えられる。

そこで本試験では、①使用する締結ボルトの構造が、版を拘束せずに伸縮するか、②版の伸縮に対して、ボルトの締結力は保持されているか、③伸縮時に締結ボルトの変形がどの程度で収まるか(最適ボルト径の決定)、について確認することを目的とし、PC 版の温度伸縮を模擬したスライド試験を実施した。

(2) PC版の温度伸縮による移動量の算出

理論上の PC 版伸縮時の不動点は版中央部になるものと考えられるが、PC 舗装版は路盤に設置された構造物であり、路盤と PC 版の設置状況により不動点が変わることが予想されるため、ここでは PC 版の端部に不動点が生じることを想定して、PC 版の温度伸縮による移動量を算出した。

$$\Delta L = K \cdot \Delta T \cdot B = \pm 40\text{mm}$$

ここに、

ΔL : PC 版の温度伸縮による移動量

K : コンクリートの線膨張係数 $10 \times 10^{-6} (1/^\circ\text{C})$

ΔT : 温度変化 $\pm 40^\circ\text{C}$

B : PC 版の長さ 100m

(3) パラメータ

3.1 の FEM 解析に基づく PC 版・緩衝版一体化構造の検討結果では、枕版を定着アンカーとして、枕版と PC 版を 40kN 程度でボルトにより締結すれば、PC 版と枕版との間に隙間が生じない傾向にあることが推察された。そこで本実験では、図-24 ならびに写真-5 に示すような、 $1\text{m} \times 1\text{m} \times 0.18\text{m}$ のコンクリート版の中心部 2 ヶ所に 40kN のボルト締結力を与えた状態で、コンクリート版を (+) 側、(-) 側にスライドさせる実験を行った。

スライド試験は 2 回に分けて実施し、第 1 回試験では締結ボルトの滑り面(図-25 に示す⑤ 座金 B タイプと⑥ 滑り板 の接触面)をパラメータとして、滑り面の最適材料を検討した。滑り面の構造は写真-6 に示すように、(1) テフロン加工、(2) クロムメッキ加工、(3) SS400 材、(4) SUS304 材、(5) ゴムのせん断変形に期待した構造、の計 5 種類とした。

また第 1 回の試験結果から、滑り面の加工としてテフロン加工が優れていること、ボルトの径が 20mm の場合は、引張力、せん断力に対しては十分な強度を有しているが、ボルトの曲げ変形によりボルトが変形してしまう可能性が高いことから、第 2 回の試験ではボルトの径と緩衝ゴムの有無をパラメータとして実験を行った。

(4) 試験方法

スライド試験の方法を図-26 に示す。試験は、枕版を想定した 50mm の鋼板の上に $1\text{m} \times 1\text{m} \times 0.18\text{m}$ のコンクリート版を設置した後、50mm の鋼板をボルトのアンカーとして所定締結力を導入し、両端部に設置したセンターホールジャッキを押すことにより、H 鋼を介してプレキャスト版をスライドさせた。実際の構造では、プレキャスト版に切り欠き部を設け、その中に滑り板、座金等のパーツを配置して版の表面部に上蓋を設置するが、今回は滑り板の取り替え、計測のしやすさを考慮してプレキャスト版の上面に滑り板を設置した。

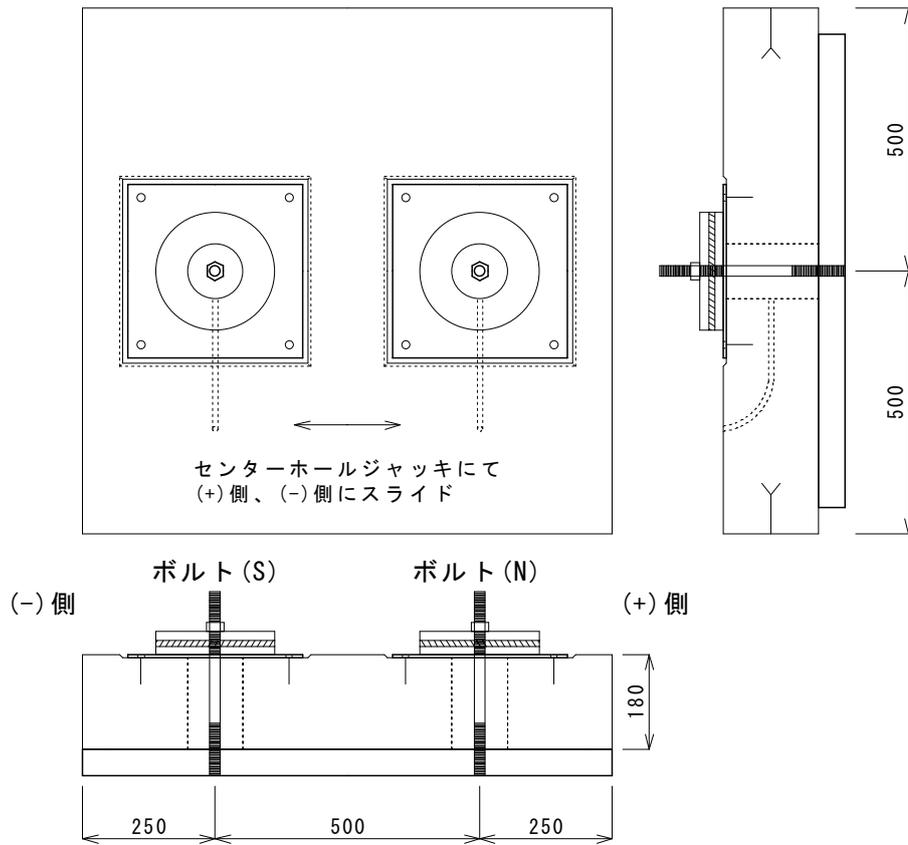
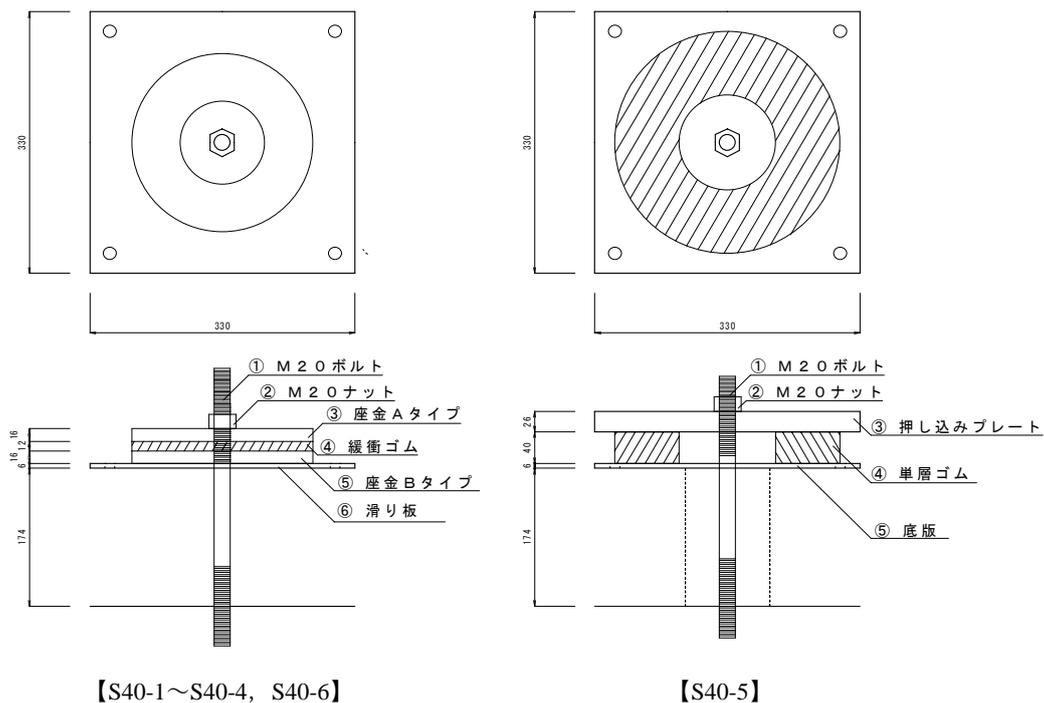


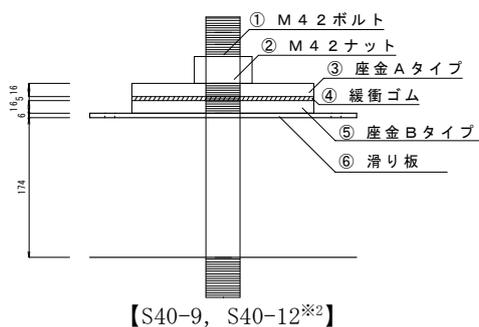
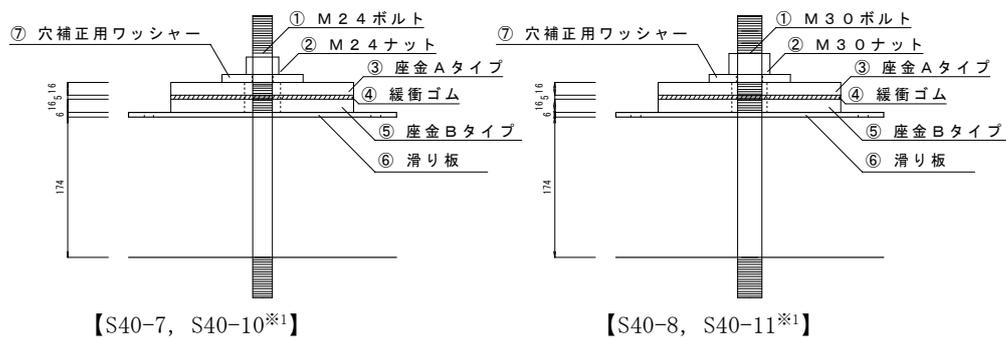
図-24 スライド試験(1)



写真-5 スライド試験(1)



(a) 第 1 回試験

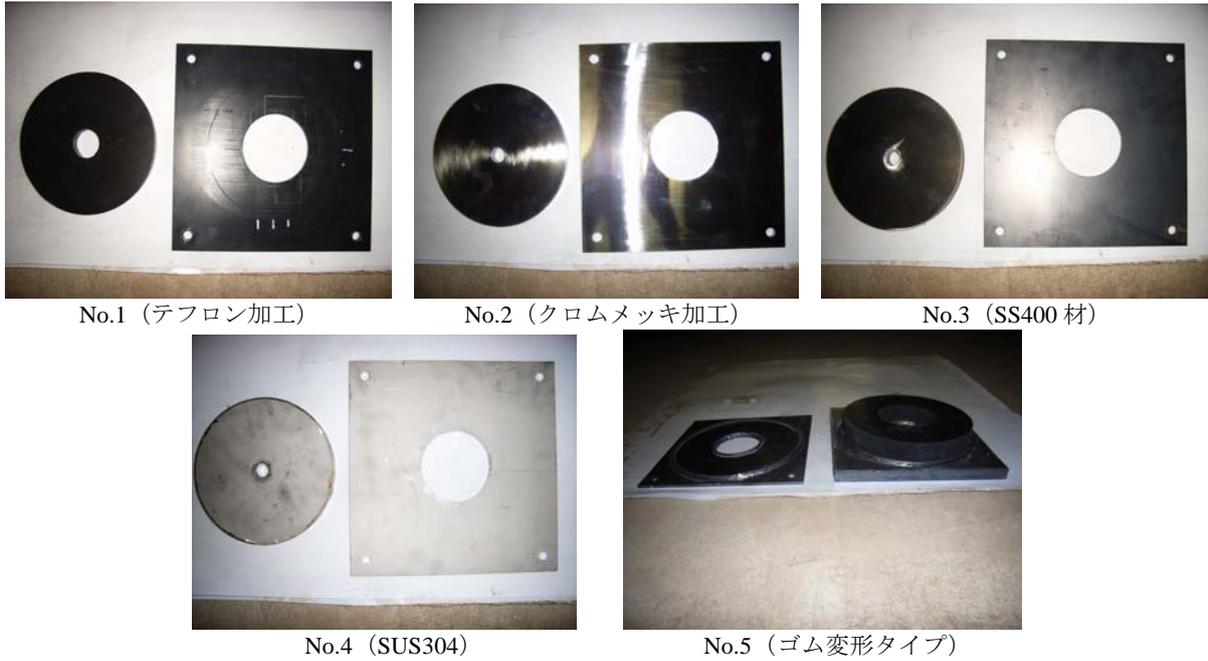


※1 ④緩衝ゴムを取り除いたタイプ

※2 ⑤座金 B タイプの材質を SS400 としたタイプ

(b) 第 2 回試験

図-25 締結ボルト構造図



No.1 (テフロン加工)

No.2 (クロムメッキ加工)

No.3 (SS400材)

No.4 (SUS304)

No.5 (ゴム変形タイプ)

写真-6 締結ボルトの滑り面の形状

表-2 測定項目

項目	計測機器	数	備考
版の移動量	変位計	4	プレキャスト版の移動量測定.
ボルトの変形量	変位計	2	ボルト先端部の変形量
ボルトの締結力	ひずみゲージ (基部 15mm)	4	締結時, 版のスライド時の締結力測定. ボルト 1 本につき 2ヶ所測定.
ボルトの締結力	ひずみゲージ (基部 15mm)	4	締結時, 版のスライド時の締結力測定 ボルトの曲げにより生じる応力測定. ボルト 1 本につき 2ヶ所測定.
荷重	ロードセル	2	版の移動時, ボルト変形の解放時の荷重測定用.

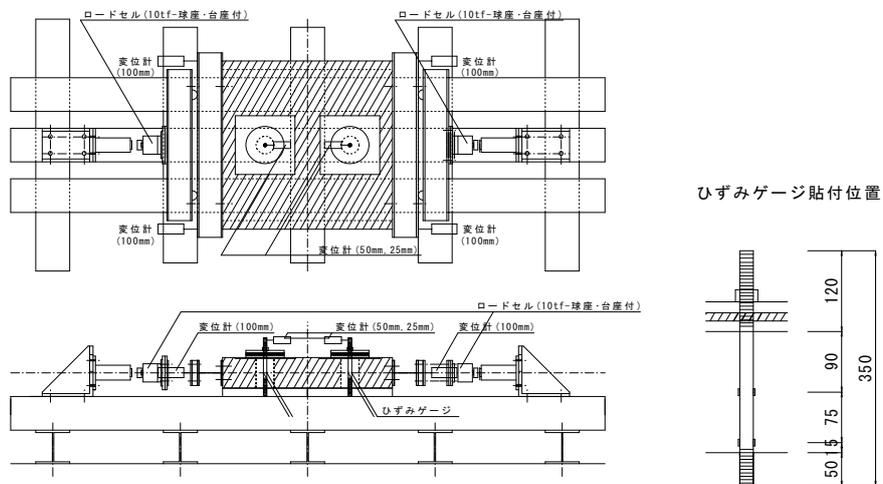


図-26 測定位置

3.3 スライド試験(1)試験結果

(1) PC版のスライドに関する検討

第1回試験では、滑り面の材質を「テフロン」、「クロムメッキ」、「SS400」、「SUS304」、「ゴム」を用いて、M20のボルトで約40kNの締結力を導入した。第1回試験時において、基準位置からコンクリート版を移動させた際のボルト先端部の変形量と版の移動量の関係を図-27に、また各試験の水平荷重から算出した滑り面の静摩擦係数の結果を表-24に、試験終了後のボルトの状況を写真-9にそれぞれ示す。なお全供試体のボルト先端部の変形量と版の移動量の結果は付録-2に、水平荷重とボルト先端部の変形量の結果は付録-3に示す。試験結果をまとめると以下のとおりである。

a) 滑り面の摩擦係数

滑り面をテフロン加工したものは、滑り面で滑りが生じるまではボルトの変形が生じるが、それ以降はコンクリート版の移動が生じてもボルトの変形は小さい範囲で収まった。それ以外のタイプは、滑り面で座金の滑りは生じず、コンクリート版の移動と共に、写真-9に示すようにボルトが変形する結果となった。

b) 各材料の静摩擦係数

滑り面をテフロン加工した試験体の静摩擦係数は0.08～0.17の範囲にあった。

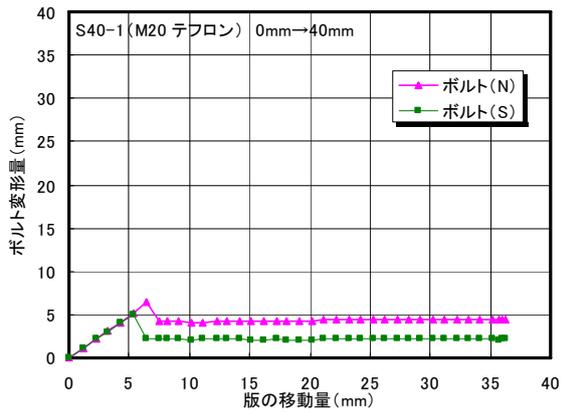
c) 滑り面の最適材料

締結金具に使用する材料のうち、版の伸縮により移動する滑り面（図-25の⑤座金Bタイプと⑥滑り面の接触面）には、テフロン加工を施した材料を使用するものとした。

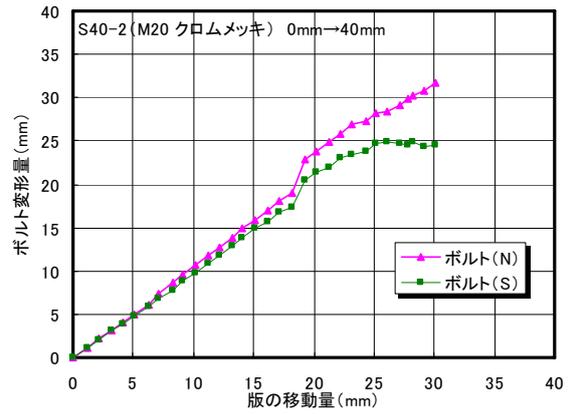
表-24 各試験体の静摩擦係数の測定結果

	試験体種類	滑り面	版の滑り面	P(kN)	Pmax(kN)	水平力(kN) Pmax-P	締結力+ 版自重 (kN)	静摩擦係数
第1回試験	S40-1	テフロン	テフロンシート	—	14.1	14.1	85.2	0.17
	S40-2	クロムメッキ		—	30.1	30.1	85.2	0.35 以上
	S40-3	SS400		—	33.3	33.3	85.2	0.39 以上
	S40-4	SUS304		—	47.4	47.4	85.2	0.56 以上
	S40-5	ゴム		—	31.0	31.0	85.2	0.36 以上
	S40-6	テフロン	ベニヤ板	21.5	30.9	9.4	85.2	0.11
第2回試験	S40-7	テフロン	鋼板	23.3	30.5	7.2	85.2	0.08
	S40-8			23.0	34.0	11.0	85.2	0.13
	S40-9			24.0	30.4	6.4	85.2	0.08
	S40-10			23.6	31.4	7.8	85.2	0.09
	S40-11			24.5	35.0	10.5	85.2	0.12
	S40-12			テフロン-鋼	26.3	42.1	15.8	85.2

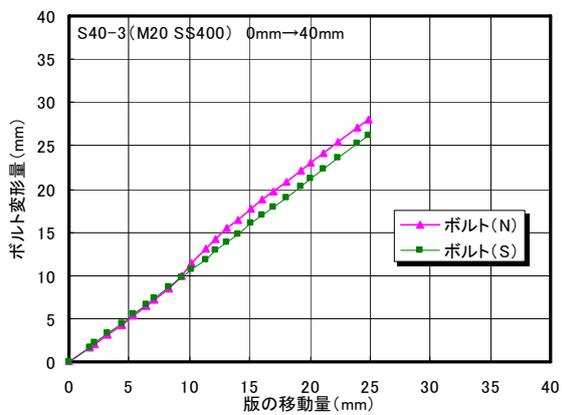
S40-1～S40-5については、版の滑り面の摩擦係数の方が小さいため、Pmaxを使用して算出した。



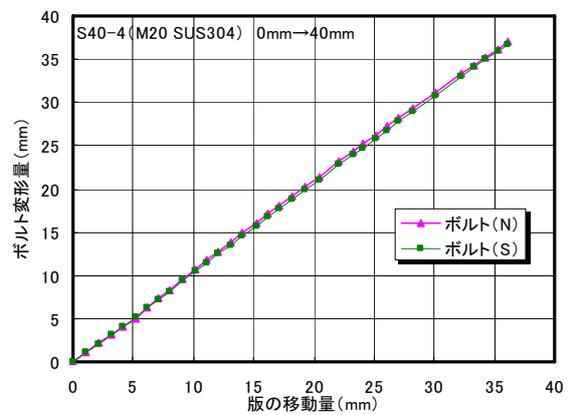
S40-1 (テフロン)



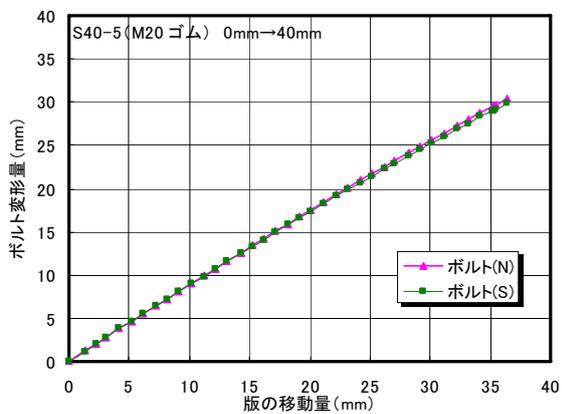
S40-2 (クロムメッキ)



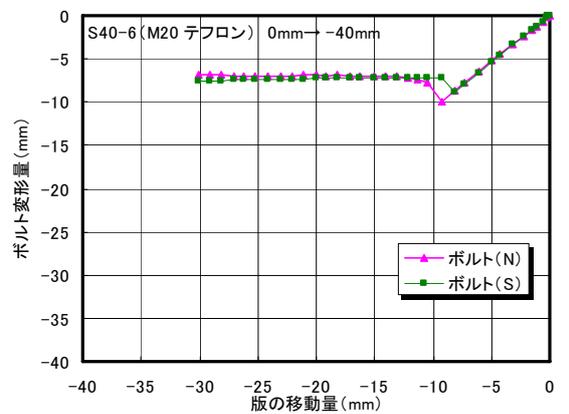
S40-3 (SS400)



S40-4 (SUS304)



S40-5 (ゴム)



S40-6 (テフロン)

図-27 各供試体のボルト変形量と版の移動量の関係



S40-1 (テフロン)



S40-2 (クロムメッキ)



S40-3 (SS400)



S40-4 (SUS304)



S40-5 (ゴム)



S40-6 (テフロン)

写真-9 スライド試験後のボルトの状況

(2) 版の移動に伴うボルト締結力の変動量

第1回試験の結果に基づき、第2回試験では滑り面の材質をテフロン加工としてボルト径、座金間に設けた緩衝ゴムの有無をパラメータとしてスライド試験を実施した。滑り面の材質をテフロン加工としたケースのボルト締結力と版の移動量の関係を図-28に示す。またボルト締結力と版の移動量のデータを付録-4に示す。

なお本データの締結力は、鋼材に貼付したひずみゲージから換算するものとした。また初期締結力は、各供試体で若干のばらつきが生じたため、初期締結力を1.0とした場合に、版の移動によりどの程度の締結力が変化するか比率で評価した。試験結果をまとめると以下のとおりである。

a) 締結力の変動について

今回の実験では、版の寸法誤差、あるいは枕版を想定した鋼板の凹凸等の影響により、(+)側に版をスライドさせた場合は締結力が低下する傾向に、(-)側に版をスライドさせた場合は締結力が増加する傾向にあった。また版をスライドさせる方向に対して外側のボルトの締結力の低下割合が内側に比べて大きい結果となった。

b) 緩衝ゴムの影響について

S40-7とS40-10, S40-8とS40-11の結果より、下図に示すように締結力が増加しようとする際にも、緩衝ゴムにより張力が緩和されるため、締結力の増加の割合が小さい。以上の結果より、実際のPC版に本構造を適用する場合は、座金と座金の間に緩衝ゴムを設置するものとする。

(3) ボルト径の選定に関する検討(ボルトの変形の検討)

(1)の結果より、テフロン加工したスライド版を用いた場合は、滑り面にすべりが生じるまではボルトの変形が生じるが、一度すべりが生じるとボルトの変形が小さいことが確認できた。

ここでは、第2回試験時にボルト基部にひずみゲージを貼付することにより、ボルト基部に発生する応力を測定するとともに、両端固定のはりを仮定したモデルによる計算値との妥当性について検討を行った。コンクリート版を基準位置(ゼロ)から25mm移動させる際の水平荷重とボルト基部に生じたひずみの結果を付録-5に、両端固定のはりを仮定したモデルにより最適ボルト径を算出するための計算フローを付録-6に、その考え方をを用いて計算した結果と付録-5に示す実験値との比較を表-25ならびに図-29にそれぞれ示す。また、本計算法により算出した滑り面の摩擦係数に応じて生じるボルトの曲げ変形によるひずみの関係を図-30に示す。なお計算は、

版の上面に切り欠きを設けたことを想定して、ボルト長さを110mmとして計算した。試験結果をまとめると以下のとおりである。

- ① ボルト径は、締結力、せん断力に対する検討に加えて、滑り面で滑りが生じるまでの曲げ変形量を考慮することにより決定可能である。
- ② ボルトに生じる曲げ変形に対しての最適ボルト径は、両端固定のはりを仮定したモデルにより算出できるものと考えられる。
- ③ 実際にボルトを設置する構造では、ボルト長さが110mm程度であること、今回実験したテフロン加工を用いた場合の摩擦係数が最大でも0.17程度であることから、図-30により算出した結果をもとに、実際にはM30のボルトを用い、滑り面にはテフロン加工を施した材料を使用するものとする。

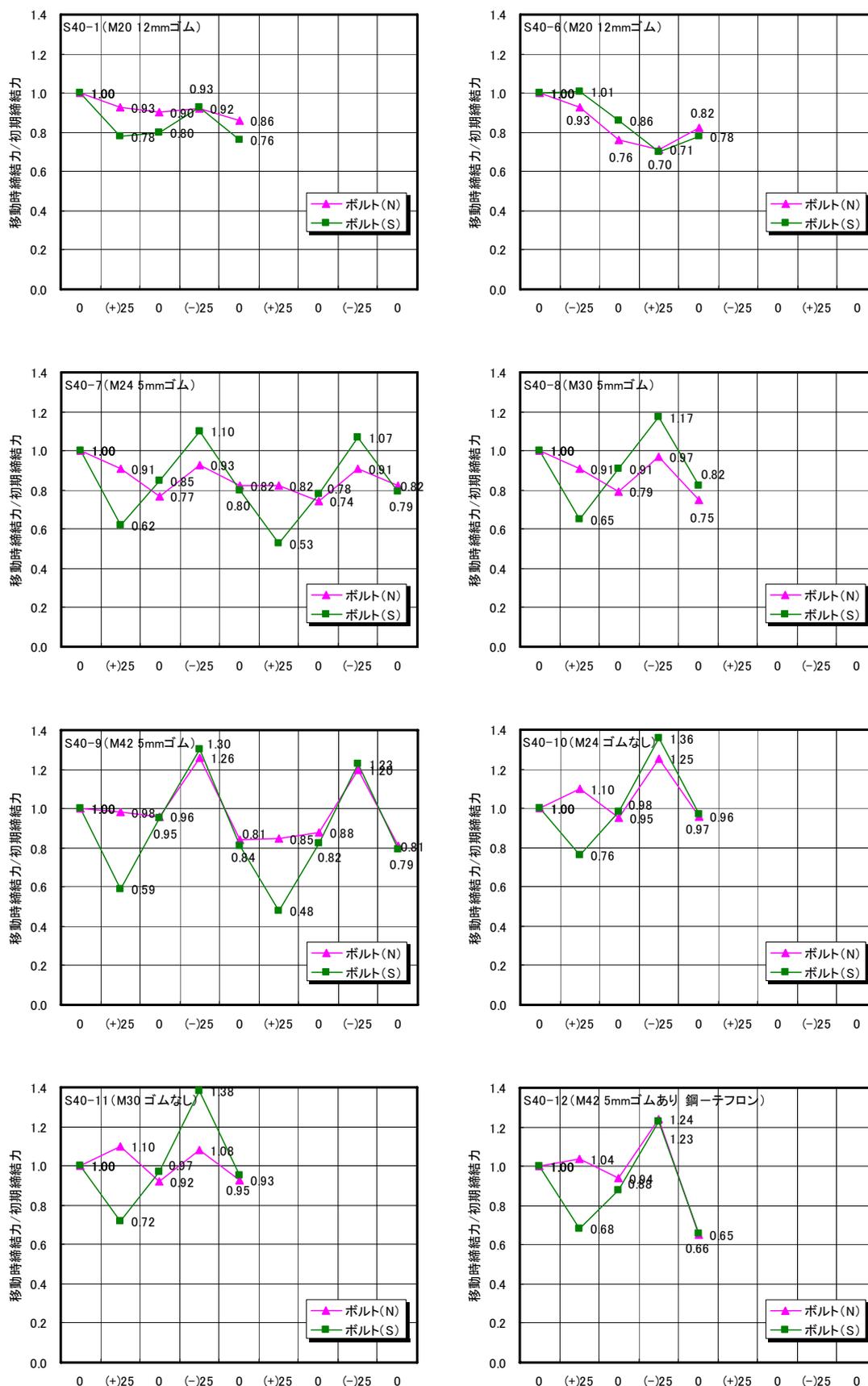


図-28 版の移動に伴うボルト締結力の変動の割合

表-25 ボルト基部に生じるひずみの実験値と計算値の比較

		S40-7		S40-8		S40-9		S40-10		S40-11		S40-12	
		N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S
ボルト諸元	ボルト径 (mm)	24		30		42		24		30		42	
	ボルト断面積 (mm ²)	452		707		1385		452		707		1385	
	断面2次モーメントI (mm ⁴)	16286		39761		152745		16286		39761		152745	
計算値	支点沈下量 δ (mm)	0.5370		0.3360		0.0509		0.5820		0.3210		0.1257	
	支点反力 R_A (kN)	3.60		5.50		3.20		3.90		5.25		7.90	
	M (ゲージ位置) (kN·m)	0.270		0.412		0.240		0.293		0.394		0.593	
	σ (ゲージ位置) (N/mm ²)	199		156		33		216		149		81	
	ひずみ (ゲージ位置) (μ)	994		778		165		1078		743		407	
実験値	版移動時の荷重P (kN)	23.3		23.0		24.0		23.6		24.5		26.3	
	ボルトの滑り発生荷重Pmax (kN)	30.5		34.0		30.4		31.4		35.0		42.1	
	$\{(P-P_{max})/2\}$ (kN)	3.60		5.50		3.20		3.90		5.25		7.90	
	ボルト最大ひずみ (μ)	1130	1007	922	535	167	165	594	1017	801	355	310	432
	ボルト最小ひずみ (μ)	-1017	-1084	-880	-506	-159	-162	-458	-1083	-751	-289	-256	-351
	ボルトひずみ平均値 (μ)	1074	1046	901	521	163	164	526	1050	776	322	283	392
	ボルトひずみ2本の平均値 (μ)	1060		711		163		788		549		337	

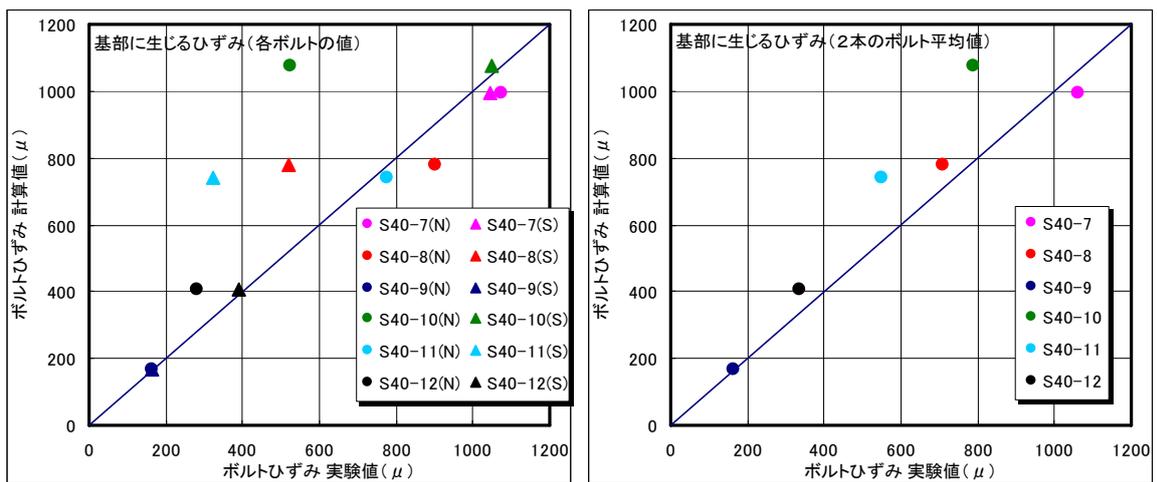


図-29 変形により生じるボルトのひずみの実験値と計算値の比較

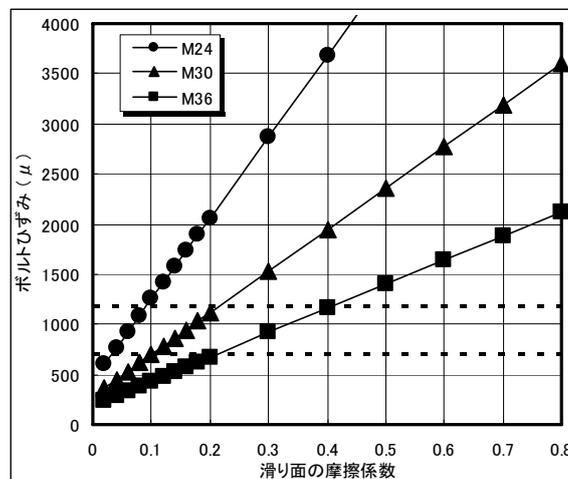


図-30 滑り面の摩擦係数に応じて生じるボルトの曲げ変形によるひずみの関係

3.4 PC版の温度伸縮を模擬したスライド試験(2)

(1) スライド試験(2)の概要

スライド試験(1)では、ボルトの締結力を保ちつつコンクリート版を拘束することなく伸縮するための構造として滑り面にテフロン加工を施した材料を使用すること、ボルトの曲げ変形に対して鋼材の降伏強度内に収まるボルト径としてM30を選定した。しかし実際には、締結ボルトが目地に平行して複数設置されるため、ここでは、より実際の構造に近い形でPC版を模擬したコンクリート版のスライド試験を実施することにより、①使用するボルトの構造が版を拘束せずに伸縮し、ボルトの変形も計算で想定された応力で収まっているか、②版の伸縮に対して、ボルトの締結力は保持されているか、について確認することを目的とする。

なお3.1のFEM解析に基づくPC版・緩衝版一体化構造、3.2のPC版の温度伸縮を模擬したスライド試験(1)では、図-31のa)変更前の図に示すように、PC版端部にはそれぞれ2本ずつの鋼材を配置することにより、PC版と緩衝版を一体化する構造を検討していた。しかし、これまで検討していたボルトの配置方法ではPC版に配置されているPC鋼材と接触してしまうこと、実工事ではPC版にコア削孔を行わなければならないため、設置箇所も極力少ないことが望ましいため、今後は図-31のb)変更後の図に示すボルト配置により検討を行った。またボルト配置間隔については、既設PC版のPC鋼材の配置間隔が375mmを基本に配置されていることから、スライド試験(2)ならびに後述するPC版と緩衝版との連続性を確保するための静的載荷試験では、ボルトの最小間隔は1.1mを基本に検討した。

(2) パラメータ

供試体の形状・寸法を図-32に、試験のパラメータを表-26にそれぞれ示す。試験は、全てのケースにおいてボルト間隔1.1mとし、ボルト締結力を5kN、10kN、20kN、40kNに変化させて実施した。試験に使用したPC版の寸法は、4.4m×2.1m×0.18mとした。詳細は3.6の(2)供試体の概要に示す。

(3) 試験方法

スライド試験の装置図を図-33に、PC版に設置するボルトの形状・寸法を図-34にそれぞれ示す。試験は、反力壁に固定した両動油圧ジャッキを用いて、H鋼を介してPC版を±15mm程度押し引きするものとした。試験では、PC版の押し引きに伴う版のずれを防止するため、両サイドにはローラーを設けた。またテフロン加工した滑り板のセットは、あらかじめ抜き型枠の上面に石膏をならし、その上に滑り板を水平器でレベルになる程度の精度でセットした。

(4) 測定項目

測定項目を表-27に、計測位置を図-35にそれぞれ示す。測定項目は、PC版の移動量を確認するための変位計、ボルトの曲げ変形により生じる基部のひずみ、ボルトの締結力の変動、PC版を押し引きするための水平荷重とする。ボルトの締結力は、静的載荷試験と同様に、鋼材に貼付したひずみゲージにより管理した。

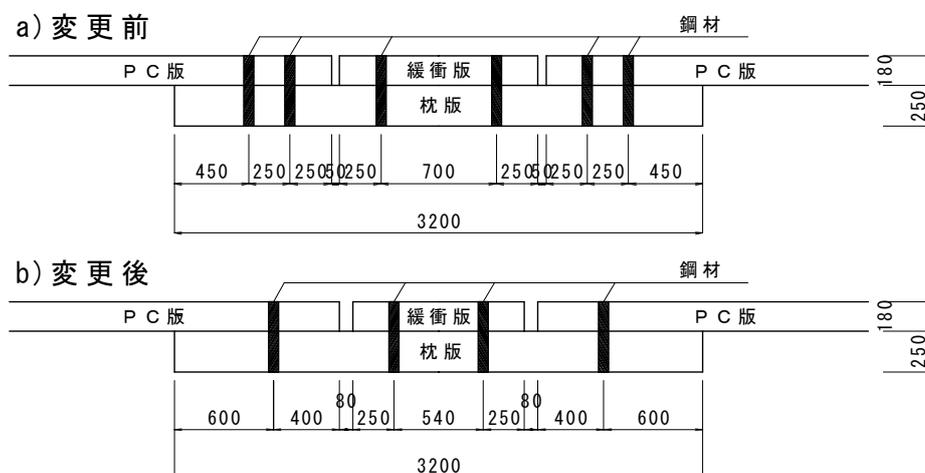


図-31 ボルトの配置方法

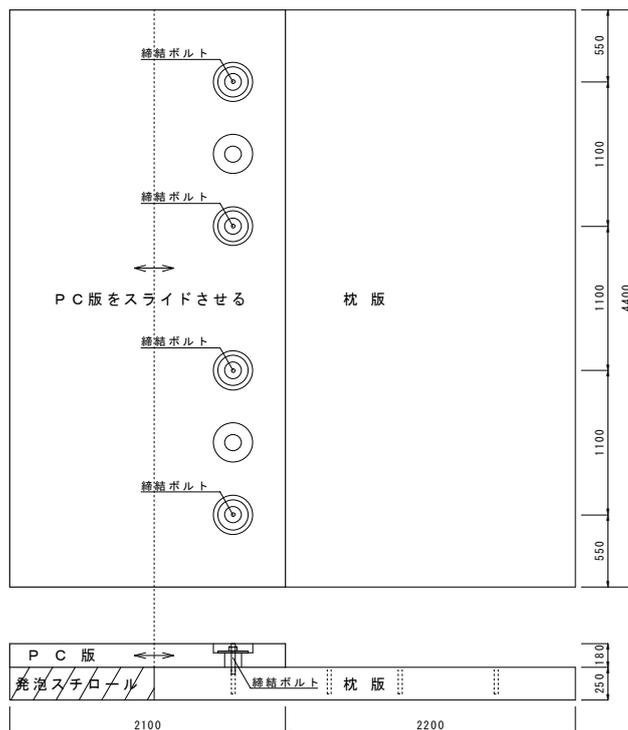


図-32 供試体の形状・寸法



写真-10 スライド試験(2)

表-26 試験のパラメータ

No.	ボルト間隔	ボルト 1 本あたりの 締結力
1	なし	—
2	1.1m	5kN
3		10kN
4		20kN
5		40kN

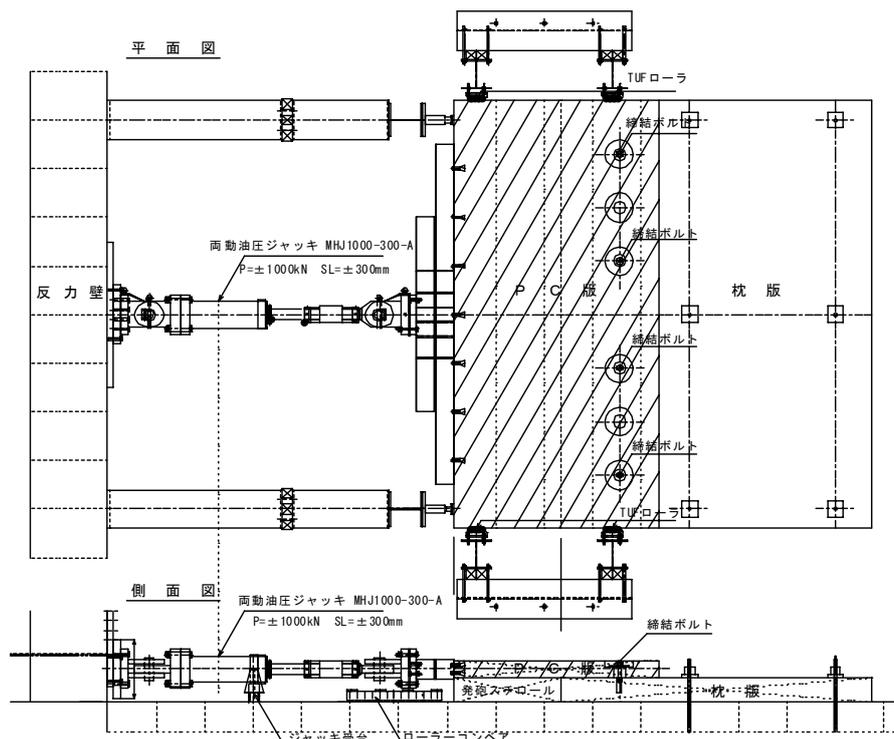


図-33 スライド試験の装置図

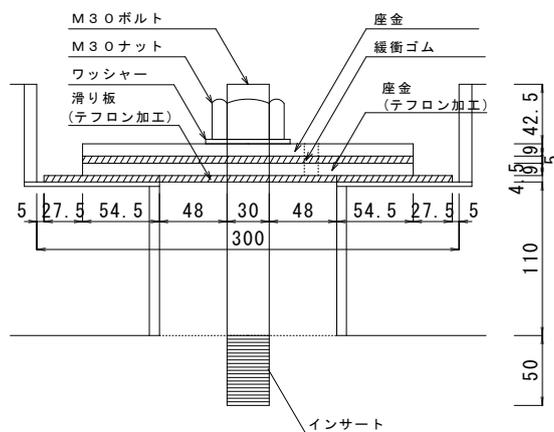


図-34 PC版に設置するボルトの形状・寸法

表-27 スライド試験における測定項目

項目	計測機器	数	備考
版の変形量	ひずみゲージ	4	PC版の移動量測定
ボルトの締結力	ひずみゲージ	8	ボルト 4本×2枚/本=8枚
ボルト基部のひずみ	ロードセル	8	ボルト 4本×2枚/本=8枚
水平荷重		1	
計		21	

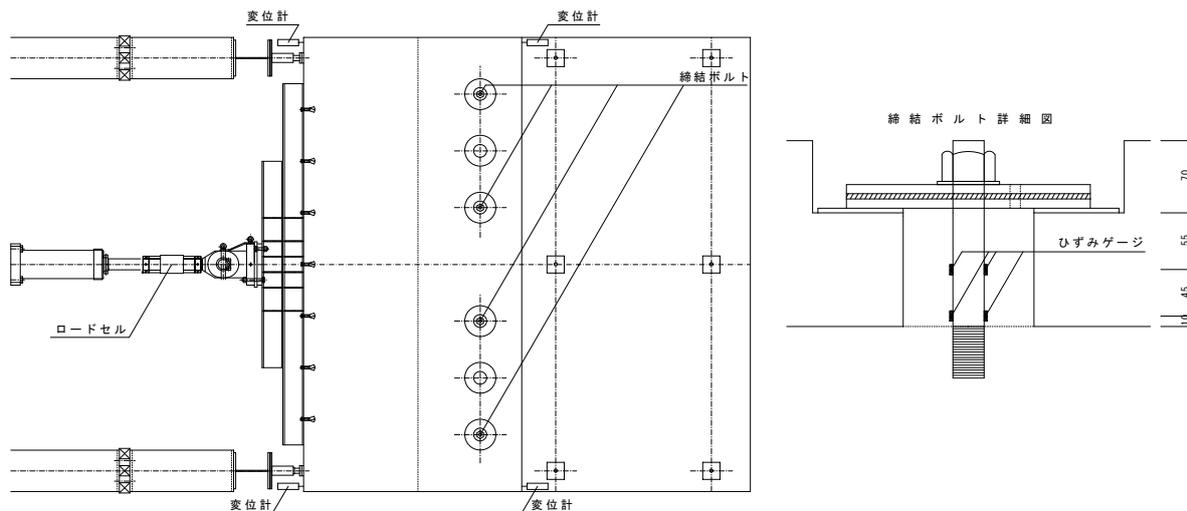


図-35 計測位置図

3.5 スライド試験(2)試験結果

(1) PC版の伸縮およびボルトの変形に関する検討

各試験ケースにおける水平荷重とPC版移動量の関係を図-36に、水平荷重の結果から算出した静摩擦係数の結果を表-28にそれぞれ示す。またNo.2～No.5のボルト基部に生じたひずみとPC版の移動量の結果を図-37に示す。試験結果をまとめると、以下のとおりである。

a) PC版の伸縮

今回実施したスライド試験のうち、最も厳しい条件であるNo.5(ボルト締結力40kN)においても、PC版は伸縮挙動を示した。また水平荷重の結果から算出した滑り板と座金部の静摩擦係数は、締結力が10kN, 20kN, 40kN時で0.13～0.17程度であり、スライド試験(1)とほぼ同様な静摩擦係数の値を示した。

b) PC版が伸縮した際のボルトの曲げ変形

締結力が大きくなるに従い、ボルト基部に発生するひずみにばらつきが生じたが、今回使用したM30のボルトについて、曲げ変形により生じたひずみは、全てのケースで鋼材の降伏強度以内に収まった。

(2) 伸縮に伴うボルト締結力の変動に関する検討

No.2～No.5のボルト締結力の変動とPC版の移動量の結果を図-38に、この結果をもとにボルト締結力の変動量の最大値と最小値を抽出した結果を表-29にそれぞれ示す。ここで、表-29中の変動割合は、初期締結力に対して締結力が低下した割合を示している。

PC版の伸縮に伴うボルト締結力の変動は、締結力を

40kN導入した場合において、-24%～+17%の変動の範囲にあった。また初期締結力が小さいケースほど、初期締結力に対しての締結力の変動が大きくなる傾向にあった。

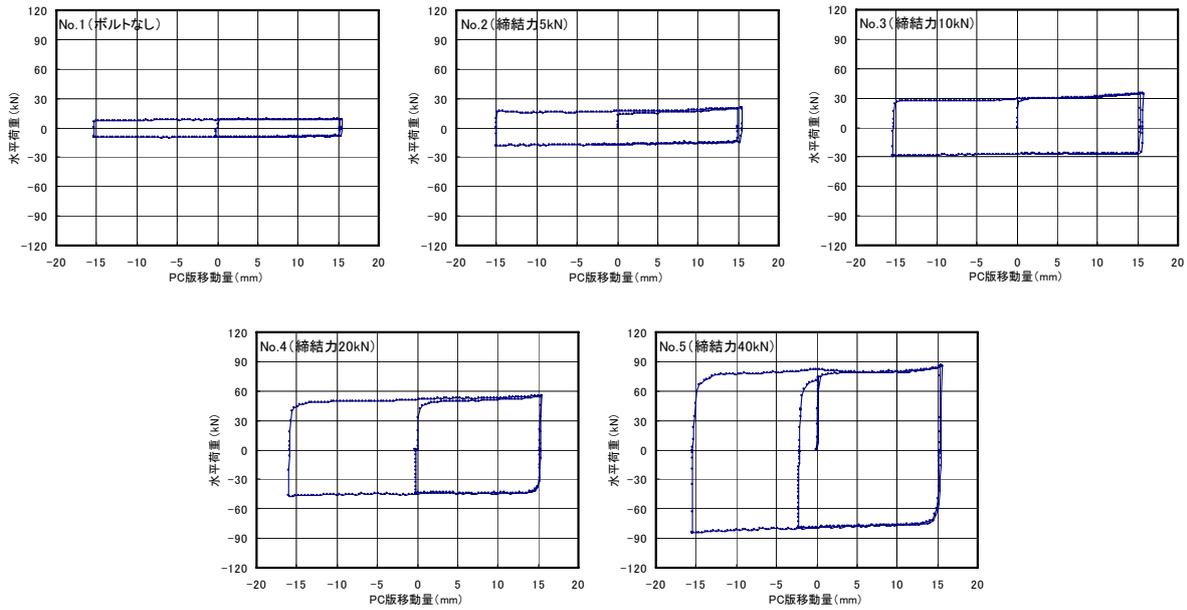
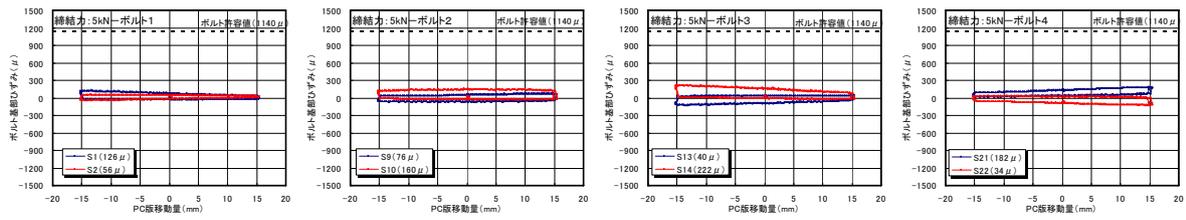


図-36 各試験ケースの水平荷重-PC版移動量の関係

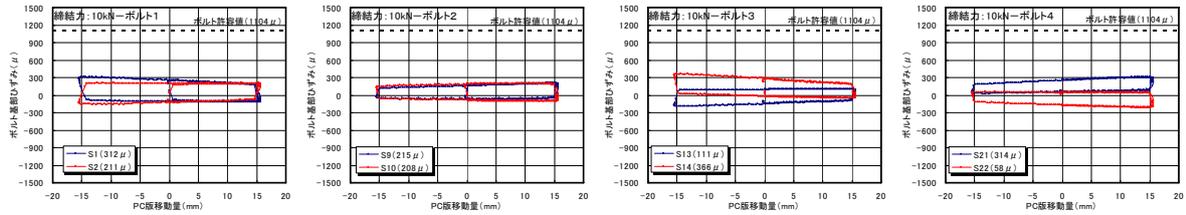
表-28 各試験ケースの静摩擦係数の測定結果

試験ケース	ボルト間隔	ボルト締結力	PC版自重	P _{max} (kN)		コンクリート面水平荷重	テフロン面水平荷重	静摩擦係数
				(+)	(-)			
No.1	—	—	40.8 kN	(+)	9.2	9.7	—	0.237
				(-)	10.1			
No.2	1.1m	5 kN	40.8 kN	(+)	14.0	14.0	14.4	-0.023
				(-)	13.9			
No.3	1.1m	10 kN	40.8 kN	(+)	25.9	25.9	19.2	0.167
				(-)	25.8			
No.4	1.1m	20 kN	40.8 kN	(+)	42.1	40.6	28.6	0.150
				(-)	39.1			
No.5	1.1m	40 kN	40.8 kN	(+)	74.0	68.0	47.6	0.128
				(-)	62.0			

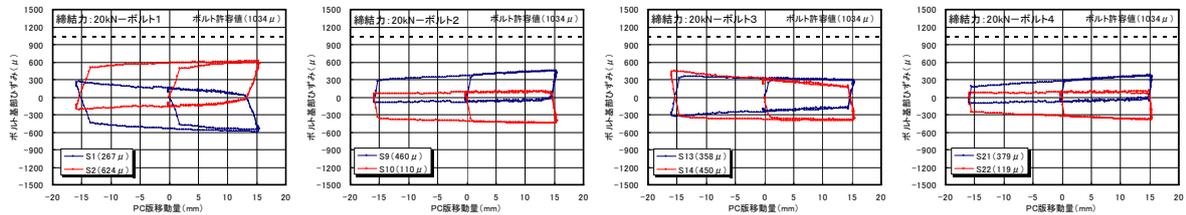
※滑り板と座金の静摩擦係数は、水平荷重の実験値からコンクリート底面の水平荷重を差し引いたものを、ボルト締結力で除して算出した。



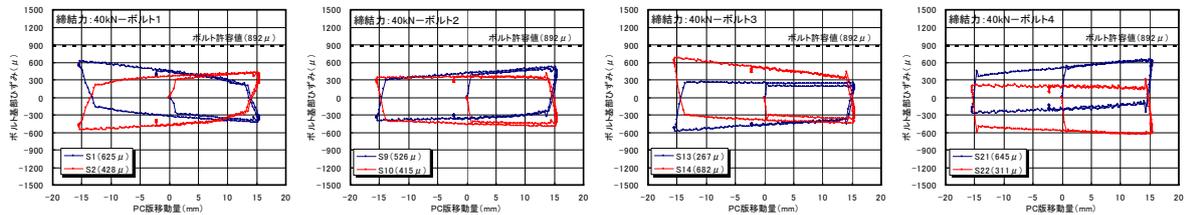
(No.2 (締結力 5kN))



(No.3 (締結力 10kN))



(No.4 (締結力 20kN))



(No.5 (締結力 40kN))

図-37 ボルト基部に生じたひずみと PC 版の移動量の結果

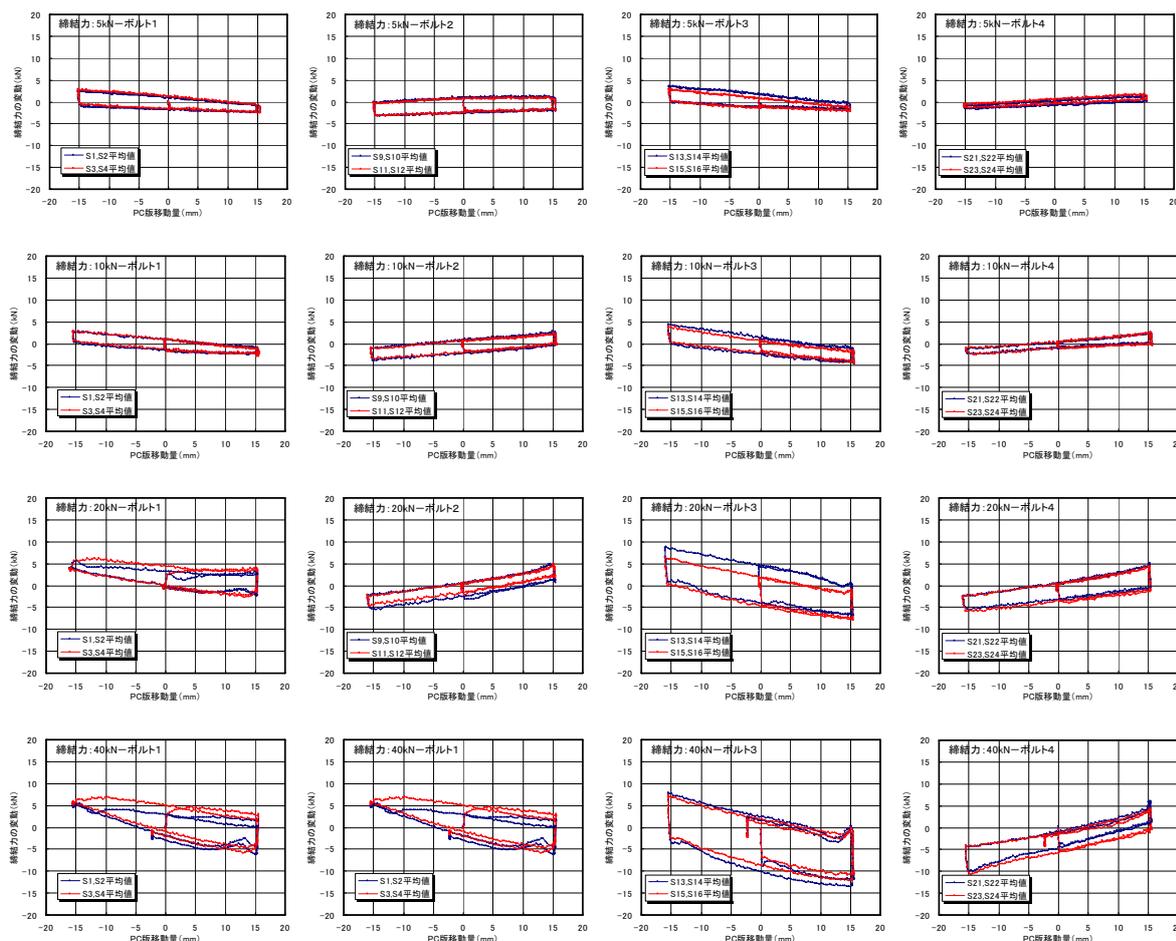


図-38 No.2～No.5 のボルト締結力の変動と PC 版の移動量の結果

表-29 各試験ケースのボルト締結力の変動量の結果

	No.2 (ボルト締結力 5kN)	No.3 (ボルト締結力 10kN)	No.4 (ボルト締結力 20kN)	No.5 (ボルト締結力 40kN)
ボルト 1	-2.5kN～2.9kN	-3.0kN～2.9kN	-2.7kN～6.2kN	-6.3kN～7.0kN
ボルト 2	-3.3kN～1.4kN	-3.9kN～2.9kN	-5.6kN～5.0kN	-7.0kN～6.8kN
ボルト 3	-2.2kN～3.6kN	-4.5kN～4.4kN	-7.9kN～8.8kN	-13.5kN～7.8kN
ボルト 4	-1.7kN～1.8kN	-2.5kN～2.7kN	-5.9kN～5.0kN	-10.7kN～6.0kN
平均値	-2.4kN～2.4kN	-3.5kN～3.2kN	-5.5kN～6.3kN	-9.4kN～6.9kN
変動割合	(-48%～+48%)	(-35%～+32%)	(-28%～+32%)	(-24%～+17%)

3.6 静的載荷試験

3.1で検討したPC版と緩衝版の一体化構造の効果についての解析的な検討結果を踏まえ、本節では、PC版端部を模擬した供試体を製作し、静的載荷試験を行うことにより、PC版端部と緩衝版の連続性が確保されているかについて、実験的に確認することを目的とする。

(1) パラメータ

供試体の形状・寸法を図-39に、静的載荷試験の状況を写真-10に、載荷ケースを表-30に、ボルトの配置方法を図-40に、ボルトの形状・寸法を図-41にそれぞれ示す。

試験は、模擬路盤（発泡スチロール）上に3.2m×4.4m×0.25mの枕版を設置し、枕版上面の中心部に1.04m×4.4m×0.18mの緩衝版を、枕版上面の両端部に2.1m×4.4m×0.18mのPC版を設置し、前述したFEM解析の結果より、PC版と枕版の間に最も隙間が生じると考えられる緩衝版端部に載荷した。その際にPC版と枕版に生じる隙間、PC版と緩衝版のたわみ差、PC版と緩衝版のひずみ差を測定することにより、PC版と緩衝版の一体化を評価した。

試験のパラメータは、PC版と枕版の支持条件、締結ボルトの有無、締結ボルトの配置間隔、締結力とし、計32種類の載荷試験を実施した。

PC版と枕版の支持条件については、以下の4種類をパラメータとして実施した。

シリーズ1、シリーズ2は、設計上想定されたようにPC版が枕版に支持された状況を模擬したものであり、載荷試験前に実施した発泡スチロールの平板載荷試験の結果（付録-7）、シリーズ1の路盤支持力係数は0.14N/mm³、シリーズ2の路盤支持力係数は0.08N/mm³であった。

シリーズ3は、枕版下の路盤の支持力が低下し、枕版のみが局所的に沈下した状態を模擬するため、PC版両端部にゲビンデPC鋼棒を1本あたり100kNで8ヶ所固定した状態で試験を実施した。

シリーズ4は、載荷点近傍のPC版に空隙が生じ、PC版は目地平行方向の両端部でのみ枕版にて支持された状態を模擬したものであり、PC版の目地直角方向の両端部に高さ調整用プレートを設置した状態で試験を実施した。今回提案している一体化構造を用いる場合は、PC版と路盤の間にはグラウト材を充てんし、隙間を設けないことを前提としているが、今回は様々な環境下において締結ボルトの効果を確認することを目的としたため、本条件下においても試験を実施した。

締結ボルトの配置間隔については、前述のFEM解析

により枕版とPC版の間に隙間が生じると推定されたボルトの間隔が2m～3mであったこと、今回ポンピング現象が生じた羽田西側エプロン部のPC舗装版のPC鋼材の配置間隔が約375mmピッチであり、PC鋼材の配置位置を交わした際の区切りの良い配置が1.1mであったことから、今回の実験では、図-39に示すように、ボルト間隔は1.1mを基準に、2.2m、3.3mの3種類を設定した。

締結力は、解析結果から40kN程度でPC版と枕版の間に生じる隙間が低減される傾向にあったとの結果を踏まえ、5kNと40kNを締結力の基本として試験を実施した。またPC版、緩衝版には、それぞれ図-41に示すような締結ボルトを使用し、ボルト締結力の管理は、付録-8に示す締結ボルトの応力-ひずみの関係をもとに、鋼材に貼付したひずみゲージにより行った。

(2) 供試体の概要

a) 枕版

枕版の形状・寸法を図-42に示す。供試体の寸法は3200×4400×250mmとした。コンクリートの設計基準強度は40N/mm²とし、鉄筋は多層弾性理論により算出した断面力に対して100N/mm²以内の応力になるような鉄筋を配置するものとした。なお載荷試験時におけるコンクリートの圧縮強度は付録-9に示す値であった。

b) 緩衝版

緩衝版の形状・寸法を図-43に示す。供試体の寸法は1040×4400×180mmとした。コンクリートの設計基準強度は40N/mm²とし、目地平行方向はφ23mmのアンボンドPC鋼棒を4本配置したPC構造、目地直角方向はD19を配置したRC構造とした。

c) PC版

PC版の形状・寸法を図-44に示す。供試体の寸法は2100×4400×180mmとし、コンクリートの設計基準強度は40N/mm²とした。また今回の実験では、PC版に直接載荷は行わないため、目地平行方向、目地直角方向ともにRC構造とし、D16の鉄筋を配置した。

d) 模擬路盤（発泡スチロール）

今回の実験では、模擬路盤として硬質発泡スチロール（カネパールソイルブロック DX-29）を用いて路盤を構成した。シリーズ1では枕版下の発泡スチロール厚さを100mm、シリーズ2～シリーズ4では枕版下の発泡スチロール厚さを200mmとして、静的載荷試験を実施した。先述したように、発泡スチロール厚さを100mmとした場合の路盤支持力係数は0.14N/mm³、発泡スチロール厚さを200mmとした場合の路盤支持力係数は0.08N/mm³であった。

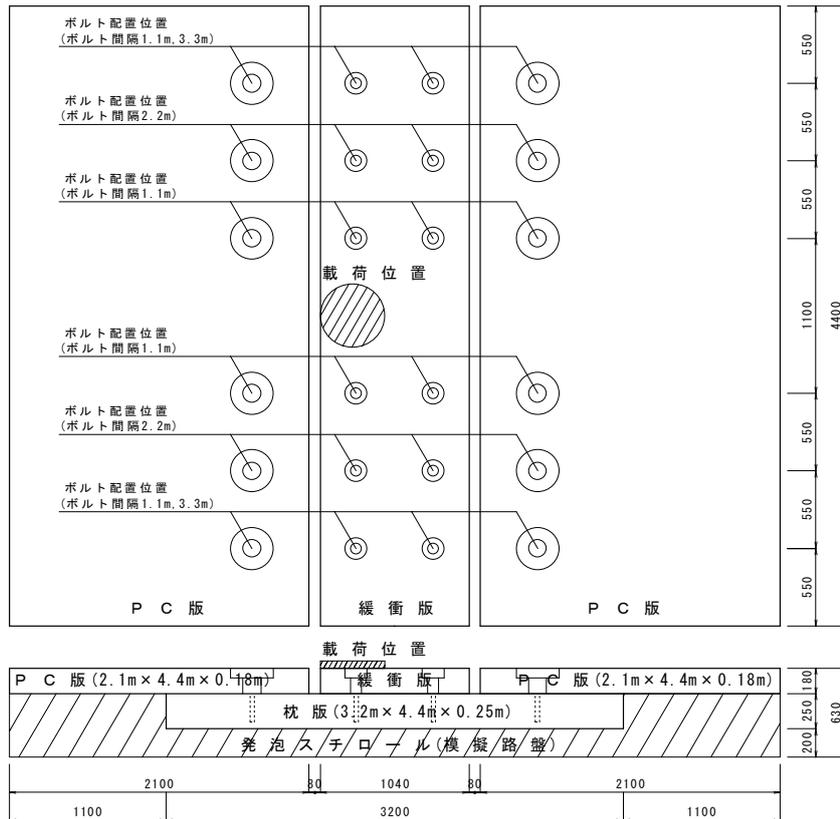


図-39 供試体の形状・寸法

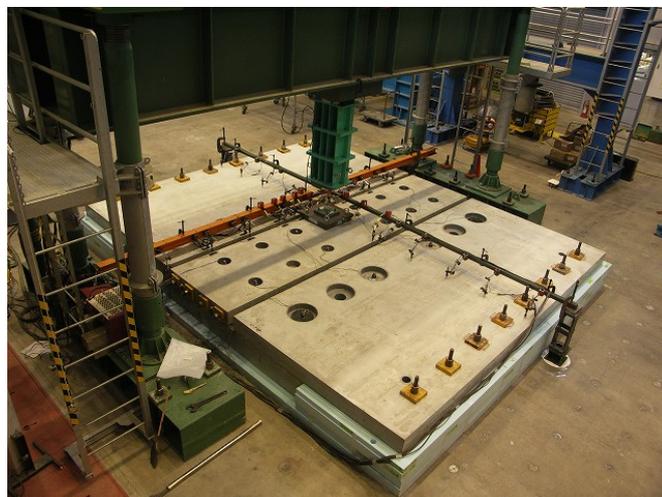
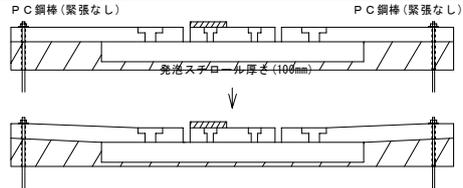
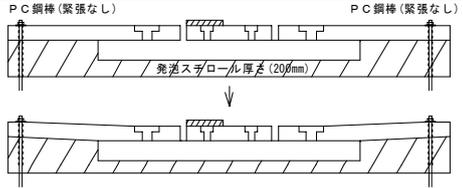
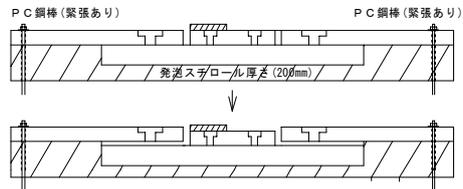
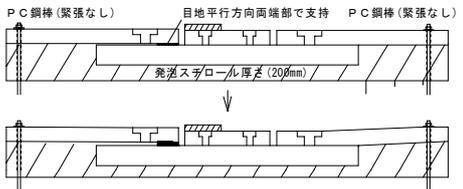


写真-10 静的載荷試験の状況

表-30 載荷ケース

載荷ケース	シリーズ1				シリーズ2			
模擬路盤厚	発泡スチロール厚さ：100mm				発泡スチロール厚さ：200mm			
PC版の支持条件	ゲビンデPC鋼棒：緊張なし				ゲビンデPC鋼棒：緊張なし			
	PC版は枕版に全面支持されたケース				PC版は枕版に全面支持されたケース			
								
載荷ケース		供試体名	ボルト間隔	ボルト締結力		供試体名	ボルト間隔	ボルト締結力
	1	シリーズ1-1.1m-5kN	1.1m	5kN	8	シリーズ2-1.1m-5kN	1.1m	5kN
	2	シリーズ1-1.1m-40kN		40kN	9	シリーズ2-1.1m-40kN		40kN
	3	シリーズ1-2.2m-5kN	2.2m	5kN	10	シリーズ2-2.2m-5kN	2.2m	5kN
	4	シリーズ1-2.2m-40kN		40kN	11	シリーズ2-2.2m-40kN		40kN
	5	シリーズ1-3.3m-5kN	3.3m	5kN	12	シリーズ2-3.3m-5kN	3.3m	5kN
	6	シリーズ1-3.3m-40kN		40kN	13	シリーズ2-3.3m-40kN		40kN
	7	シリーズ1-無	-	-	14	シリーズ2-無	-	-
載荷ステップ	0kN→350kN→0kN→350kN→0kN→350kN の3回繰り返し載荷				0kN→205kN→0kN→205kN→0kN→205kN の3回繰り返し載荷			
載荷ケース	シリーズ3				シリーズ4			
模擬路盤厚	発泡スチロール厚さ：200mm				発泡スチロール厚さ：200mm（版端部のみ支持）			
PC版の支持条件	ゲビンデPC鋼棒：緊張あり				ゲビンデPC鋼棒：緊張なし			
	枕版のみが不同沈下した状態を模擬したケース				載荷面近傍のPC版に空隙が生じ、PC版は枕版両端部で支持された状態を模擬したケース			
								
載荷ケース		供試体名	ボルト間隔	ボルト締結力		供試体名	ボルト間隔	ボルト締結力
	15	シリーズ3-1.1m-5kN	1.1m	5kN	24	シリーズ4-1.1m-5kN	1.1m	5kN
	16	シリーズ3-1.1m-40kN		40kN	25	シリーズ4-1.1m-40kN		40kN
	17	シリーズ3-2.2m-5kN	2.2m	5kN	26	シリーズ4-2.2m-5kN	2.2m	5kN
	18	シリーズ3-2.2m-40kN		40kN	27	シリーズ4-2.2m-20kN		20kN
	19	シリーズ3-3.3m-5kN	3.3m	5kN	28	シリーズ4-2.2m-40kN	3.3m	40kN
	20	シリーズ3-3.3m-10kN [※]		10kN	29	シリーズ4-3.3m-5kN		5kN
	21	シリーズ3-3.3m-20kN [※]		20kN	30	シリーズ4-3.3m-20kN		20kN
	22	シリーズ3-3.3m-40kN		40kN	31	シリーズ4-3.3m-40kN		40kN
	23	シリーズ3-無	-	-	32	シリーズ4-無	-	-
載荷ステップ	0kN→205kN→0kN→205kN→0kN→350kN の3回繰り返し載荷				0kN→350kN→0kNの1回繰り返し載荷			

※印の供試体については、0kN→350kN→0kNの1回繰り返し載荷

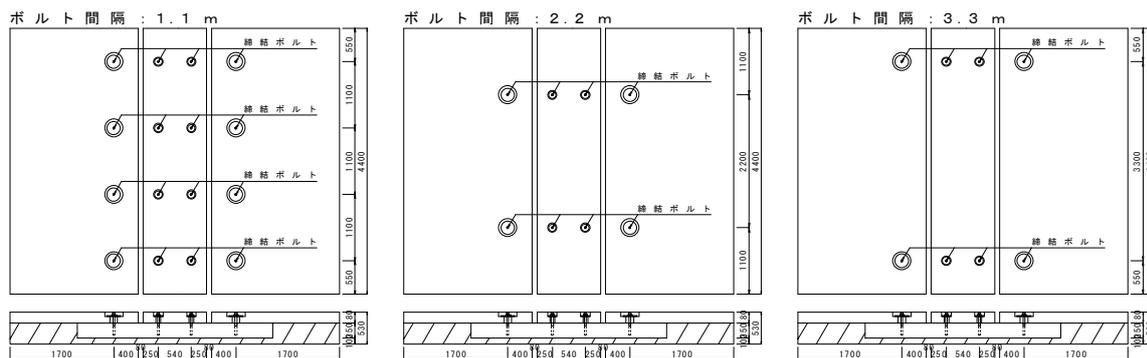


図-40 締結ボルトの配置方法

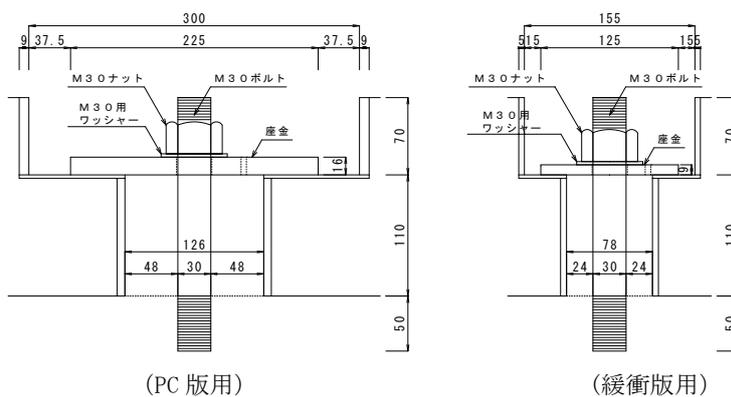


図-41 締結ボルトの形状・寸法

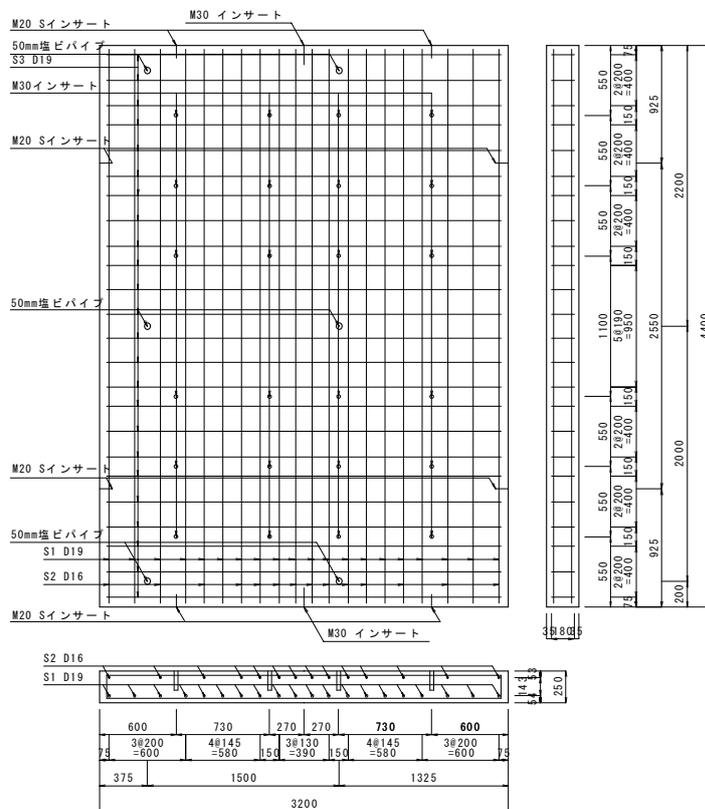


図-42 枕版の形状・寸法

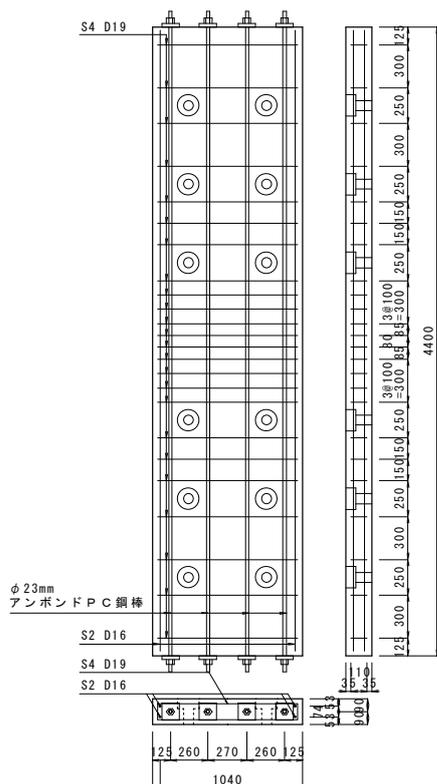


図-43 緩衝版の形状・寸法

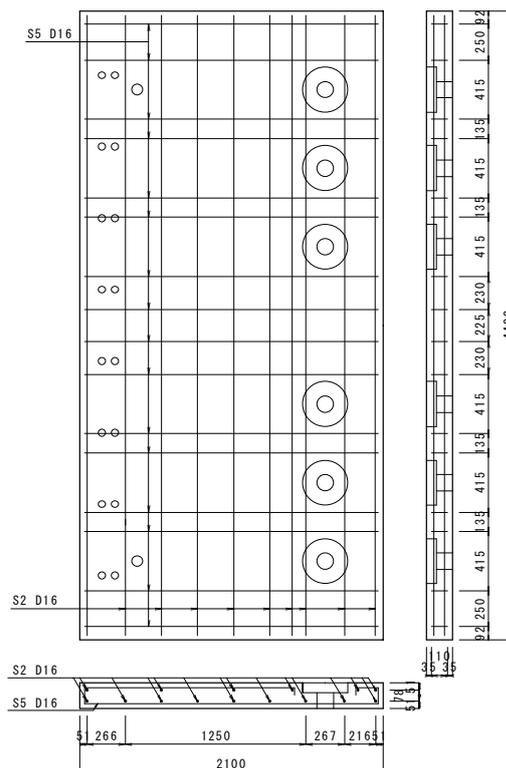


図-44 PC版の形状・寸法

(3) 試験方法

静的荷重試験の方法を図-45 に示す。試験は鉛直荷重システムを使用し、FEM 解析の結果より、PC 版と枕版の隙間が最も生じると推定された緩衝版端部に荷重した。荷重点には、直径 450mm の鋼製荷重板（下面に硬質ゴム付き）を用いた。

(4) 測定項目

静的荷重試験における測定項目を表-31 に、PC 版と枕版との間に生じる隙間、コンクリート版のたわみ、ひずみの測定状況を写真-11 に、変位計の設置位置を図-46 に、ひずみの測定位置を図-47 にそれぞれ示す。

また試験シリーズ2~4 について実施した PC 版と枕版との間に生じる隙間は図-48 に示す方法により、PC 版と緩衝版のたわみ差・たわみ伝達率の測定は図-49 に示す方法により測定した。

a) PC 版と枕版との間に生じた隙間

PC 版と枕版との間に生じた隙間は、図-48 に示すように PC 版に固定した変位計を枕版上面にセットすることにより算出した。

b) PC 版と緩衝版のたわみ差・たわみ伝達率

PC 版と緩衝版のたわみ差は、図-49 に示すように荷重

点近傍に設置した変位計により PC 版のたわみと緩衝版のたわみの差を求めた。またたわみ伝達率は、荷重点近傍の設置した PC 版と緩衝版の変位計の値を用いて、次式により算出した。

$$\text{たわみ伝達率 (\%)} \quad E_{ff} = \frac{2d_1}{d_0 + d_1} \times 100$$

ここに、

d_1 : PC 版（非荷重側）のたわみ(mm)

d_0 : 緩衝版（荷重側）のたわみ(mm)

c) PC 版と緩衝版のひずみ伝達率

ひずみ伝達率は、荷重点中心から 275mm 位置の版上面のひずみゲージの値を用いて、次式により算出した。

$$\text{ひずみ伝達率 (\%)} \quad E_{ff} = \frac{2\varepsilon_1}{\varepsilon_0 + \varepsilon_1} \times 100$$

ここに、

ε_1 : PC 版（非荷重側）のひずみ (μ),

ε_0 : 緩衝版（荷重側）のひずみ (μ)

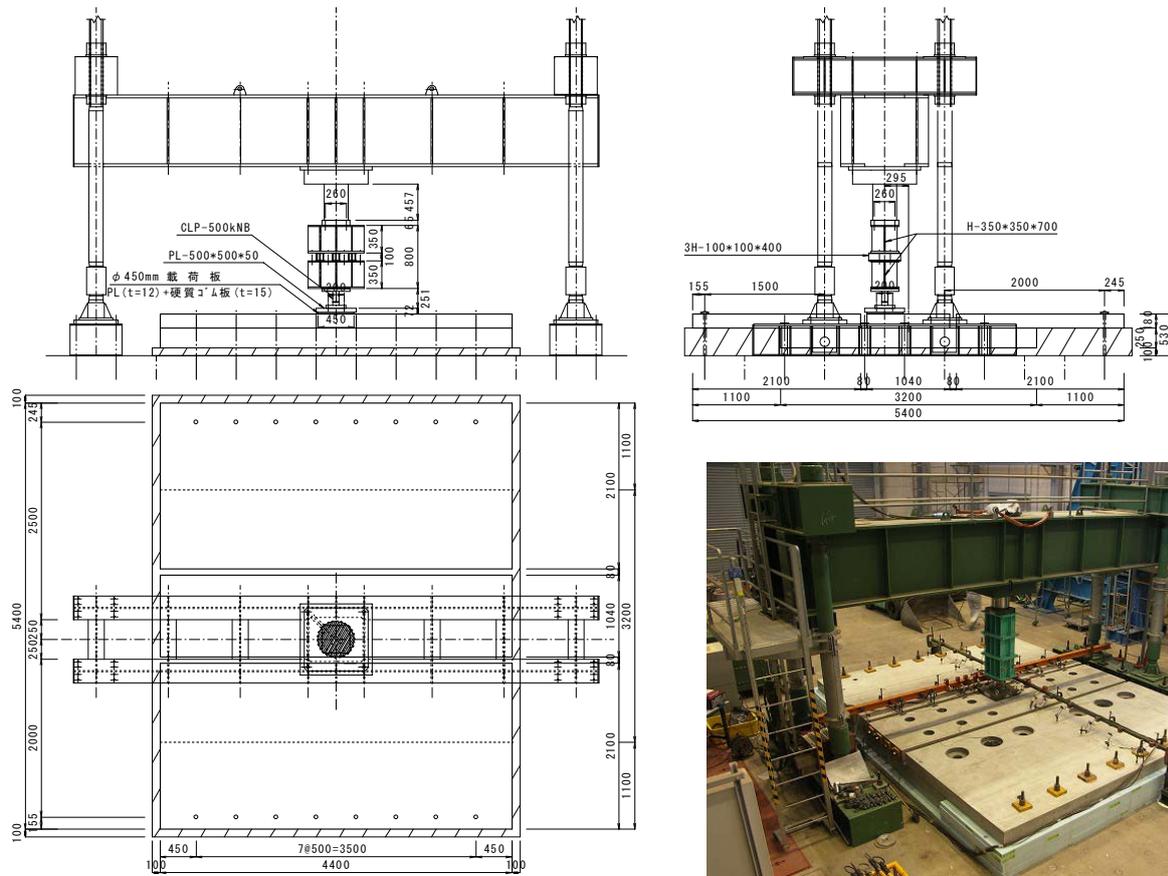
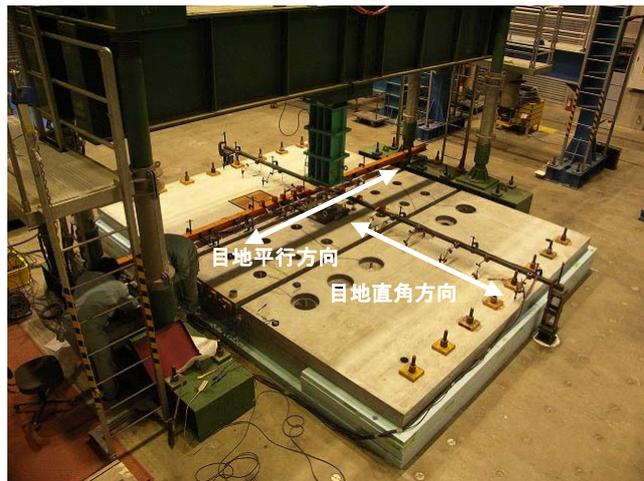


図-45 静的載荷試験の方法

表-31 静的載荷試験における測定項目

項目	計測機器	数	備考
版のたわみ	変位計	9	目地平行方向 (PC 版載荷側)
	変位計	9	目地平行方向 (緩衝版)
	変位計	4	目地直角方向 (PC 版載荷側)
	変位計	2	目地直角方向 (緩衝版)
	変位計	5	目地直角方向 (PC 版非載荷側)
PC 版・枕版の隙間	変位計	2	シリーズ 2~4 にて測定を実施
枕版の変形量	変位計	2	目地平行方向の端部
コンクリート 表面ひずみ	ひずみゲージ	8	目地平行方向 (PC 版載荷側)
	ひずみゲージ	8	目地平行方向 (緩衝版)
コンクリート 側面ひずみ	ひずみゲージ	2	緩衝版載荷位置側面
	ひずみゲージ	2	PC 版載荷側
ボルトの締結力	ひずみゲージ	32	最大 32 枚 (2 枚×16 本=32 枚)
載荷荷重	ロードセル	1	載荷荷重の確認用
計		86	



(PC版・枕版間に生じた隙間)



(目地平行方向のたわみ・ひずみ)



(目地直角方向のたわみ)

写真-11 コンクリート版のたわみ・ひずみの測定状況

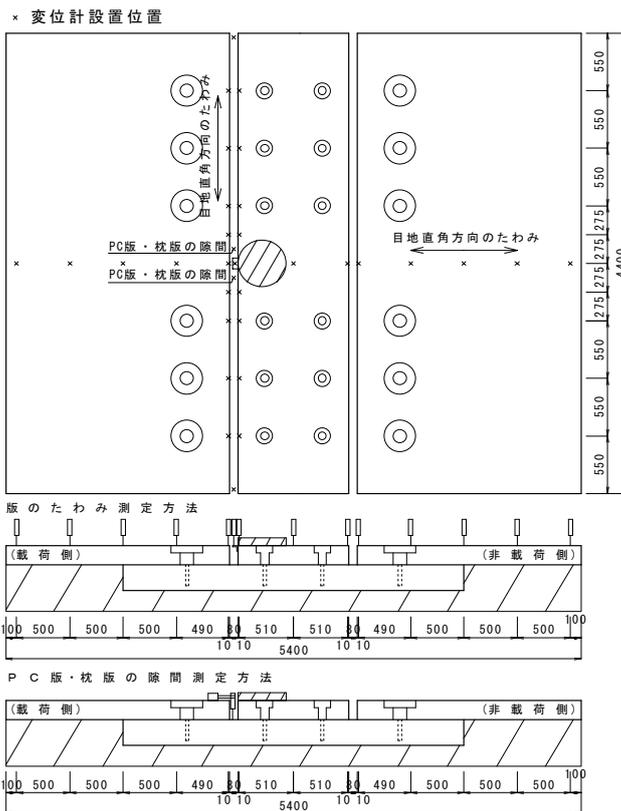


図-46 変位計の設置位置

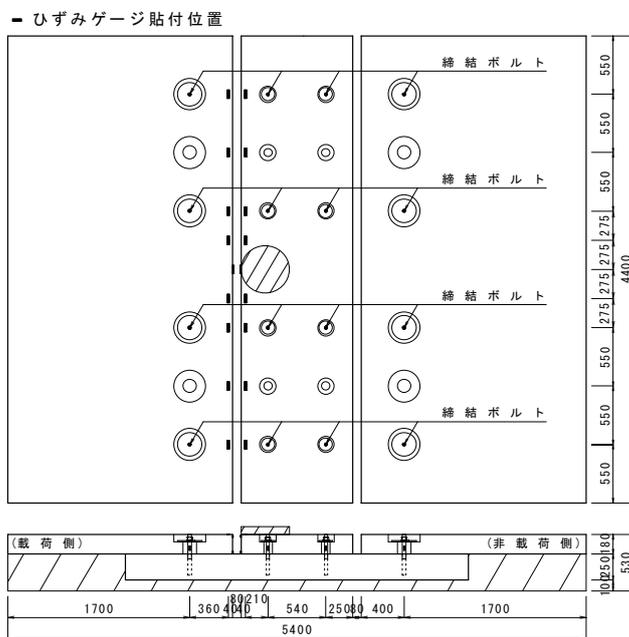


図-47 コンクリート表面のひずみ測定位置

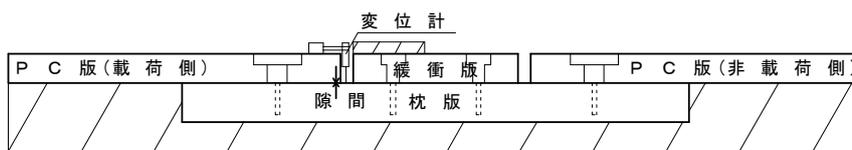


図-48 PC版と枕版との間に生じる隙間の測定方法

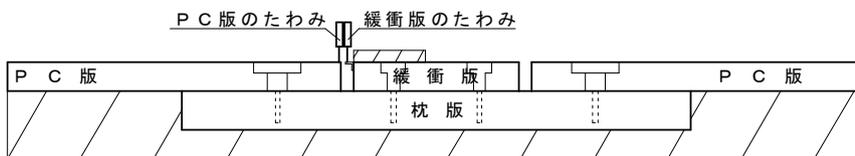


図-49 PC版と緩衝版のたわみ差・たわみ伝達率の測定方法

3.7 静的載荷試験結果

(1) PC版と枕版との間に生じた隙間の結果

試験シリーズ2～4のPC版と枕版との間に生じた隙間の結果を図-50に示す。

シリーズ2については、設計荷重205kNまでの載荷で試験を終了しているため、図は100kNと250kN載荷時のボルト間隔とPC版と枕版との間に生じた隙間の結果を、シリーズ3,4については350kNまで載荷しているため、100kN, 205kN, 350kN載荷時のボルト間隔とPC版と枕版との間に生じた隙間の結果を示す。

図-50の結果から、PC版が枕版にて全面で支持された状態(シリーズ2)では、ボルト間隔が1.1mではほとんど隙間が生じておらず、ボルトを配置していない場合についても約0.15mmに収まる結果となった。一方、枕版が局部的に沈下する状況を想定したケース(シリーズ3)、載荷面付近のPC版に空隙が存在する状況(シリーズ4)では、それぞれ設計荷重時に約0.3mmと約0.7mm、350kN載荷時に約0.7mmと約1.1mmの隙間が生じたのに対して、ボルトを配置した場合には隙間が抑制された。この傾向はボルト間隔が小さく、かつボルト締結力が多いほど顕著であった。

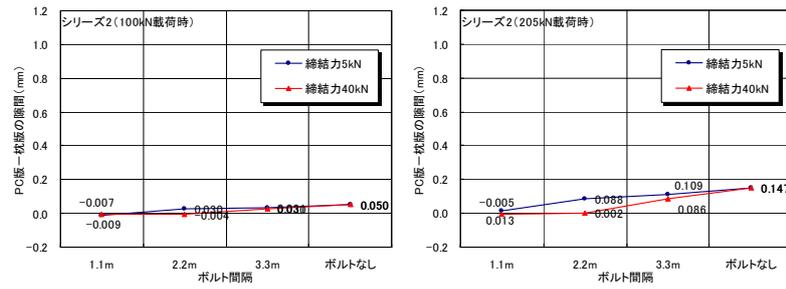
すなわち、PC版が枕版に全面的に支持された構造であれば、ボルトの有無によらずPC版と枕版との間に生じる隙間が小さいこと、シリーズ3,4のようにPC版と枕版との支持条件が悪くなった場合において、ボルト締結による効果が認められる傾向を示した。またボルト間隔が1.1mの場合は、ボルト締結力が5kNであっても40kNであっても、PC版と枕版との間に生じる隙間の変動は小さいが、ボルト間隔が大きくなるにつれてボルト締結力

の影響が大きくなる傾向を示した。

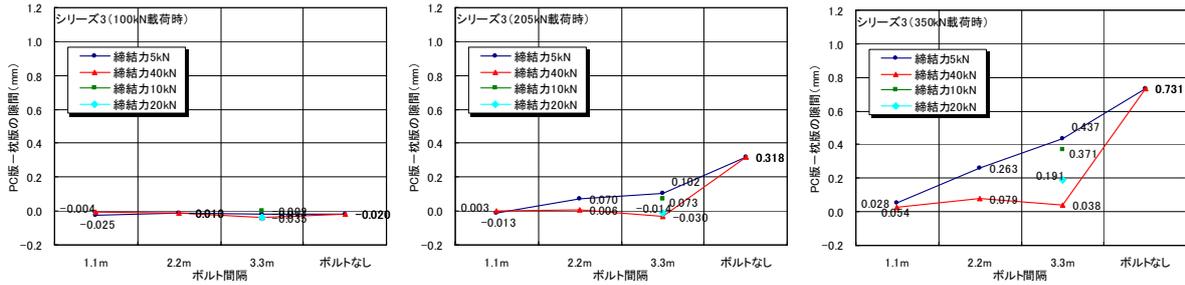
(2) PC版と緩衝版とのたわみ差・たわみ伝達率

試験シリーズ1～4のPC版と緩衝版のたわみ差を測定した結果を図-51に、PC版と緩衝版のたわみ伝達率の測定結果を図-52にそれぞれ示す。また各試験ケースの目地平行方向の載荷側(緩衝版)と非載荷側(PC版)のたわみ分布を付録-10に、目地直角方向のたわみ分布を付録-11にそれぞれ示す。

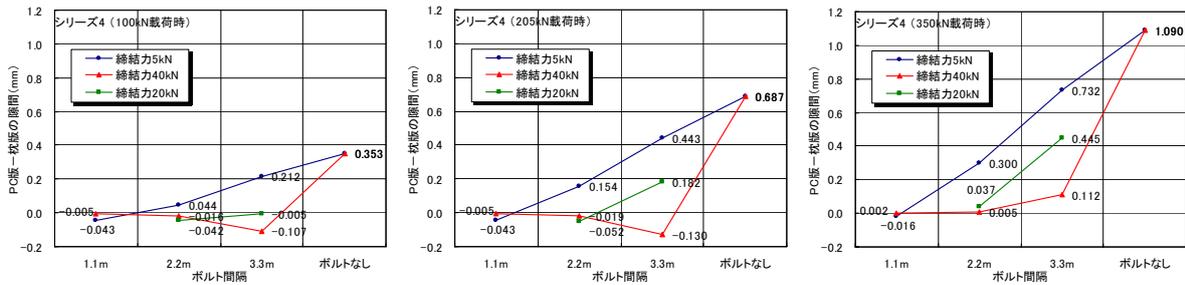
PC版と緩衝版との間に生じた隙間の結果と同様に、PC版が枕版にて全面で支持された状態(シリーズ1,シリーズ2)のボルト無しで設計荷重を載荷させた場合には、シリーズ1が約0.6mm、シリーズ2が約0.4mmのたわみ差を有していた。シリーズ1とシリーズ2を比較した場合には、シリーズ2の路盤支持力係数が小さいため、たわみ差が大きいものと想定されたが、シリーズ1ではPC版と枕版の支持において若干の不陸が生じたため、結果としてシリーズ1がシリーズ2に比べて若干たわみ差が生じる結果となった。またボルトを配置したケースは、路盤の支持状態によらずPC版と緩衝版のたわみ伝達率がボルトを配置しないものに比べて向上する傾向を示した。ボルト間隔が1.1mの場合には、締結力の影響が小さく、ボルト間隔が広がるにつれて、ボルト締結力の影響が大きくなる傾向を示した。



(シリーズ 2)

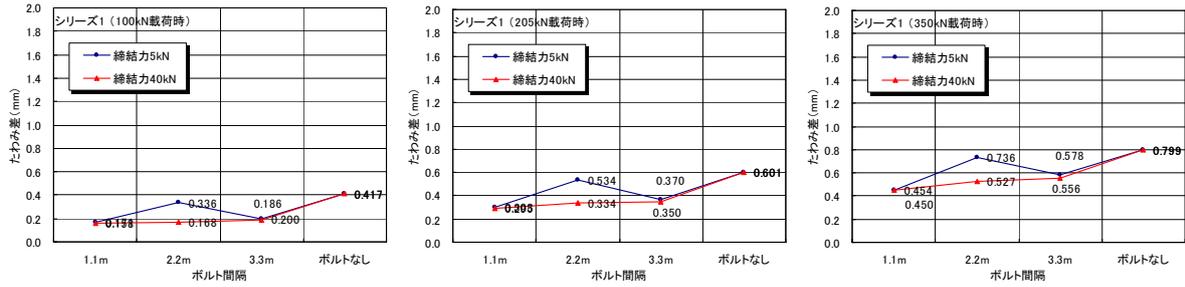


(シリーズ 3)

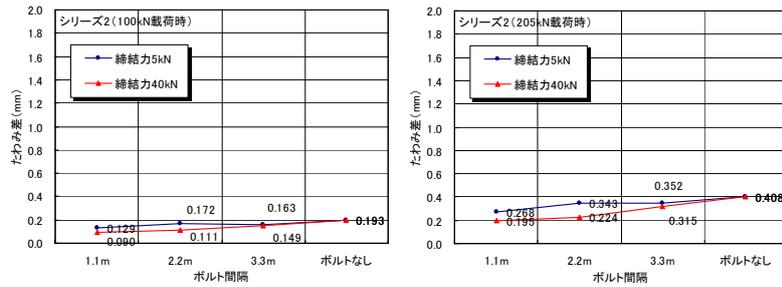


(シリーズ 4)

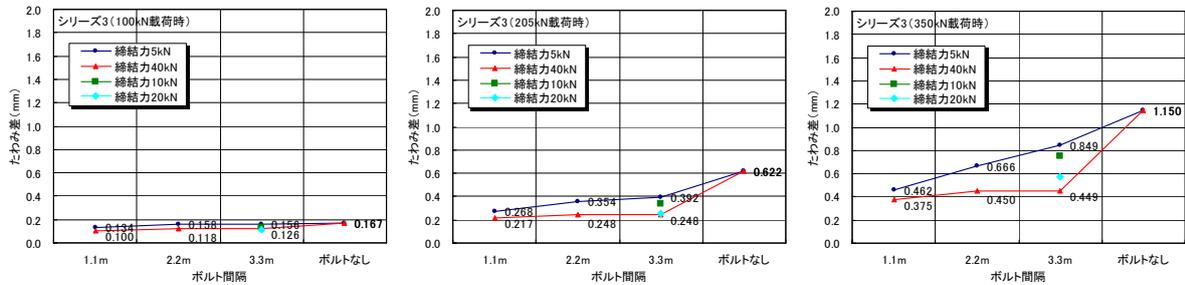
図-50 各試験シリーズのPC版と枕版との間に生じた隙間の結果



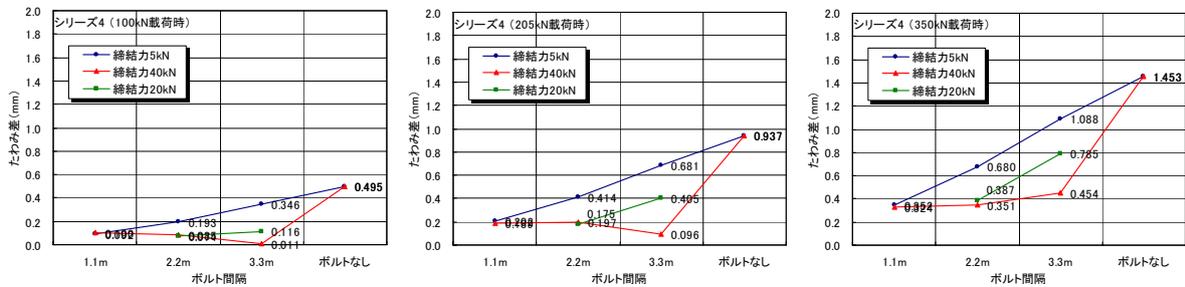
(シリーズ 1)



(シリーズ 2)

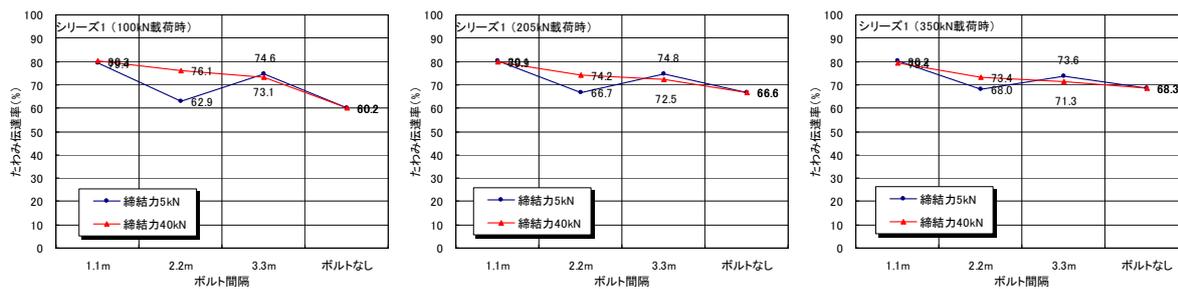


(シリーズ 3)

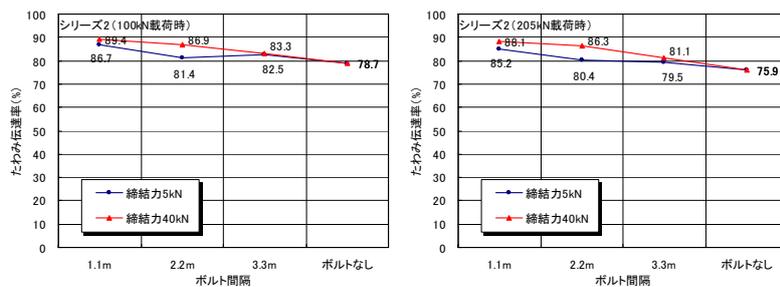


(シリーズ 4)

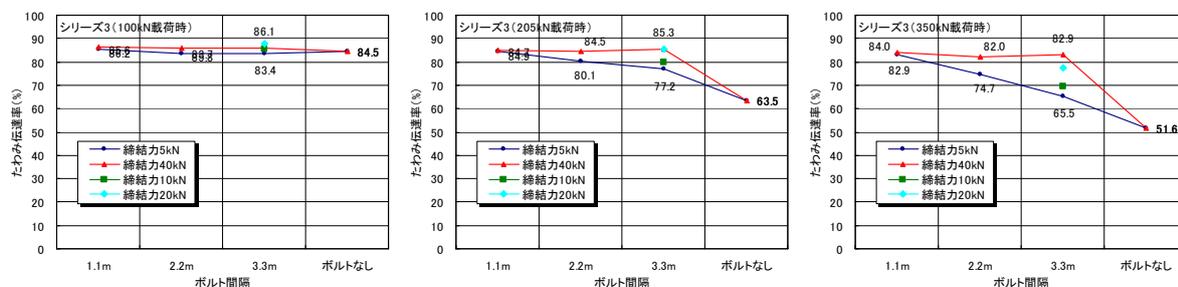
図-51 各試験シリーズのPC版と緩衝版のたわみ差の結果



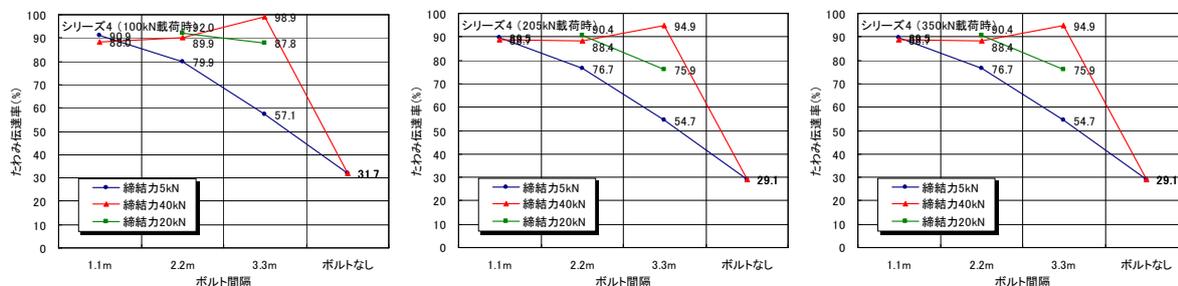
(シリーズ1)



(シリーズ2)



(シリーズ3)



(シリーズ4)

図-52 各試験シリーズのPC版と緩衝版のたわみ伝達率の結果

(3) PC版と緩衝版とのひずみ伝達率の測定結果

試験シリーズ1～4のPC版と緩衝版のひずみ伝達率の結果を図-53にそれぞれ示す。また目地平行方向の載荷側（緩衝版）と非載荷側（PC版）コンクリート表面のひずみ分布を資料-12にそれぞれ示す。

シリーズ1, シリーズ3の一部では, ボルト間隔が2.2mより3.3mの方がひずみ伝達率が向上しているデータも存在したが, 全体的にはボルトが配置されてかつボルトの配置間隔が小さい, かつボルト締結力が大きいほど, PC版と緩衝版との応力の伝達も向上する傾向を示した。

っていることが確認できた。また載荷箇所については, 載荷により路盤が変形し, 締結力が低下する箇所も生じたが, 除荷に伴いボルト締結力も復元する傾向を示した。

(4) 載荷に伴うボルト張力の変動

試験シリーズ1～4それぞれの載荷側のPC版, 緩衝版, 非載荷側のPC版に設置した締結ボルトの張力変動量の結果を図-54に示す。

今回の実験より, PC版, 緩衝版のボルト張力の増加量は, 最大でも10kN程度で収まっている結果となった。また緩衝版に設置したボルトの軸力変動に着目した場合には, 載荷を行うことにより緩衝版が縮まる結果としてボルト締結力が減少する傾向を示したが, 荷重を除荷した場合にはボルト締結力はもとに戻る傾向を示した。

(5) 静的載荷試験のまとめ

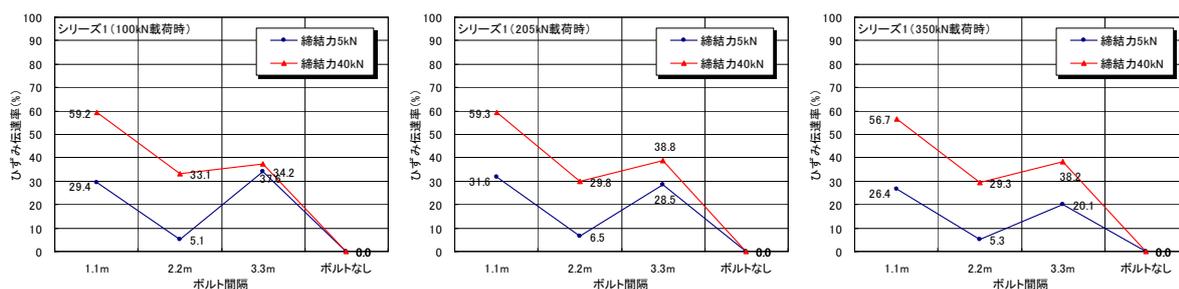
路盤の支持条件, ボルトの配置間隔, ボルト締結力をパラメータとして, PC版端部を模擬した供試体の静的載荷試験を実施することにより, PC版と緩衝版の一体化の効果について実験的な検討を行った。今回の実験により得られた結果を以下に示す。

a) PC版と枕版との間に生じた隙間, たわみの連続性

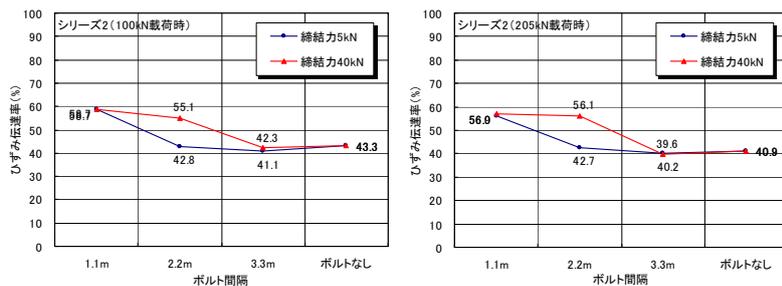
PC版が枕版にて全面で支持された状態（シリーズ2）では, ボルトを配置しなくてもPC版と枕版との間に生じた隙間は, 205kNの載荷（設計荷重相当）で約0.15mmに収まった。一方, 枕版が局所的に沈下する状況を想定したケース（シリーズ3）, 載荷面付近のPC版に空隙が存在する状況（シリーズ4）では, 205kN載荷時でシリーズ3では約0.3mm, シリーズ4では約0.7mmの隙間が生じたが, 締結ボルトを配置することにより, PC版と枕版の間に生じる隙間が抑制されることが確認できた。またボルトの配置間隔が1.1mの場合は, ボルト締結力によらず抑制されること, ボルト間隔が2.2m, 3.3mと広がるにつれてボルト締結力の影響が大きくなる傾向を示した。

b) ボルト張力の変動

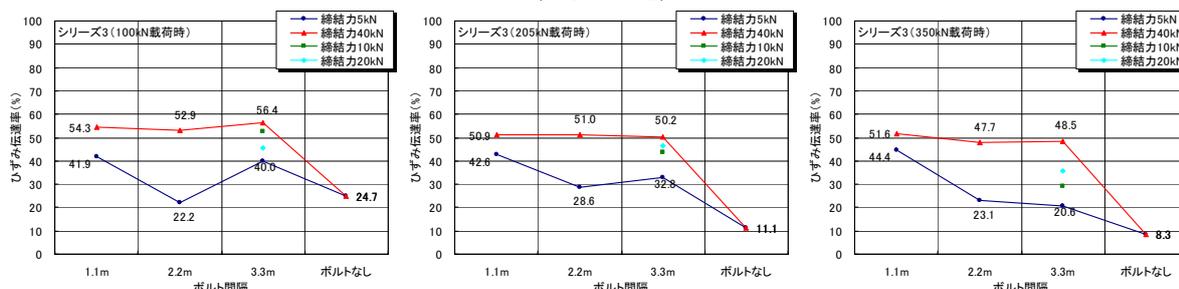
静的載荷試験時に測定したボルトの張力の結果から, 今回の実験の範囲では最大でも10kN程度の増加に収ま



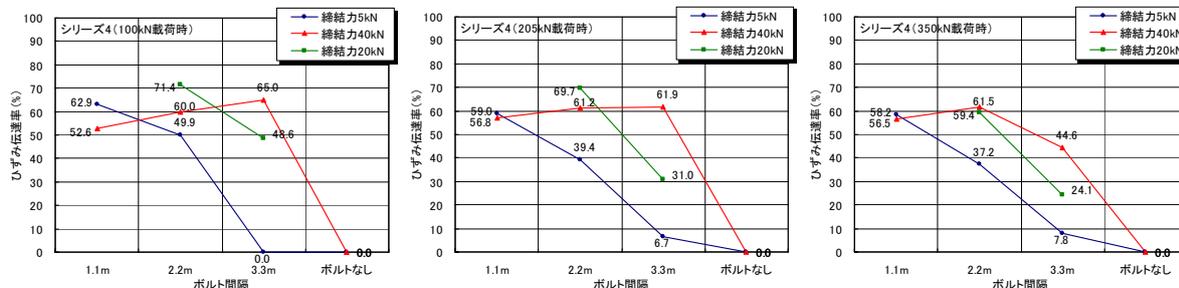
(シリーズ 1)



(シリーズ 2)



(シリーズ 3)



(シリーズ 4)

図-53 各試験シリーズのPC版と緩衝版のひずみ伝達率の結果

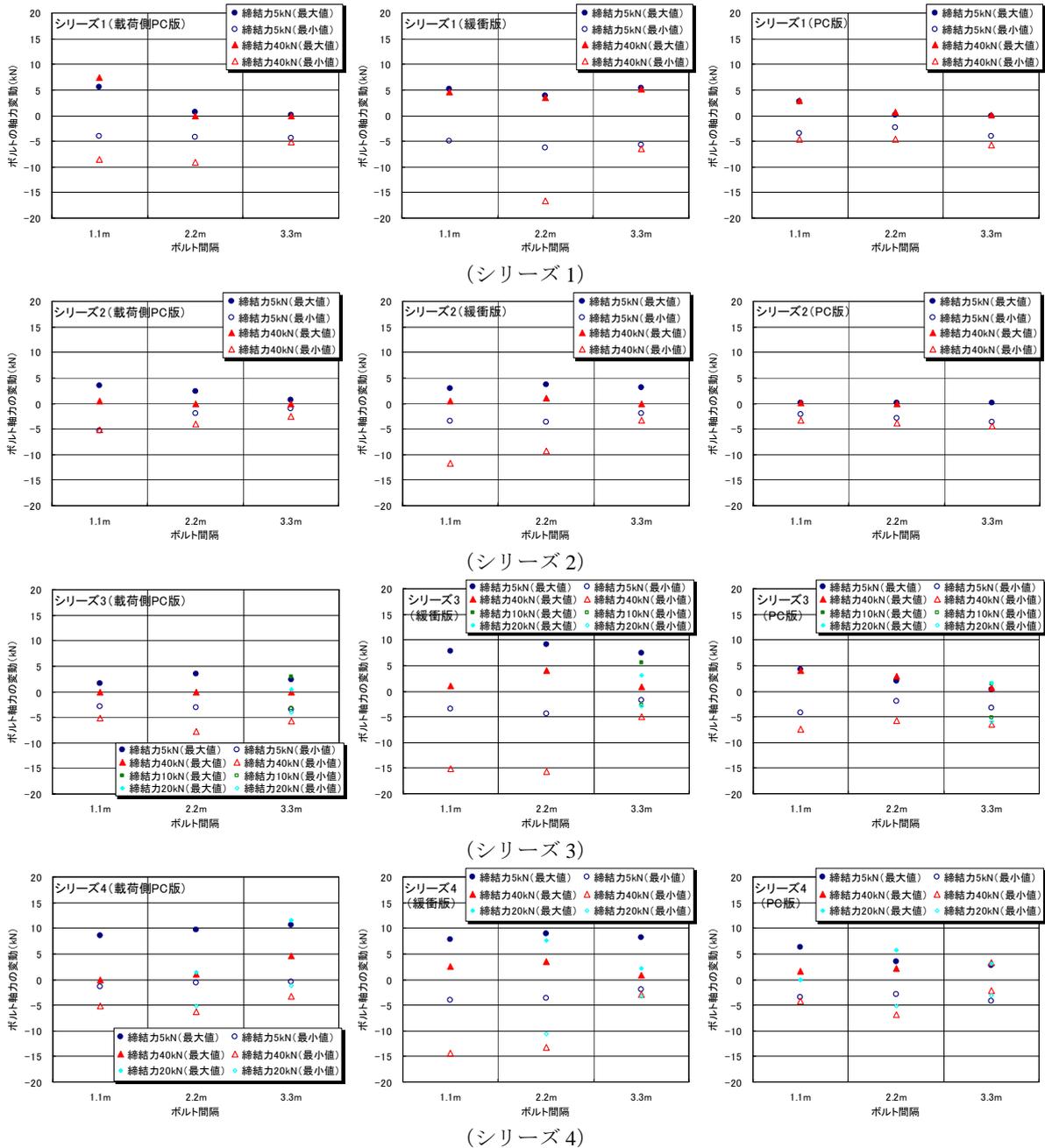


図-54 各試験シリーズのボルト張力の変動の結果

3.8 締結金具の構造・取り付け方法およびボルト締結力管理方法

既設空港エプロン PC 舗装版に一体化構造を用いる場合は、夜間の限られた時間内に既設の PC 版をコア削孔し、締結金具を設置する必要がある。本節では、4 章で述べる走行載荷試験を行う際に実施した締結金具の取り付け方法とその際に生じた課題点ならびにその改良試験、ボルト締結力の管理基準の概要を述べる。

(1) 締結金具の構造

締結ボルト構造の概要を図-55 に、PC 版用締結ボルト構造の詳細図を図-56 に、PC 版用締結金具の材料を図-57 に、緩衝版用締結金具の材料を図-58 にそれぞれ示す。

締結金具は、PC 版用、緩衝版用ともに、全ねじボルト、ロングナット、エポキシ樹脂、グラウト止めパッキン、

カセット、カセットと既設舗装版を一体化させるためのグラウト材、座金①、②、緩衝ゴム、ボルト、蓋から構成した。

PC 版に設置する締結金具は、PC 版の温度伸縮に伴う移動を確保するスペースが必要となるが、緩衝版の短手方向の版長は 1m 弱であること、長手方向は枕版と一体となって伸縮するものと想定するため、温度伸縮に伴う移動がほとんどないものと考えられるため、コア削孔径、カセットの直径は PC 版と緩衝版で異なるものを使用した。

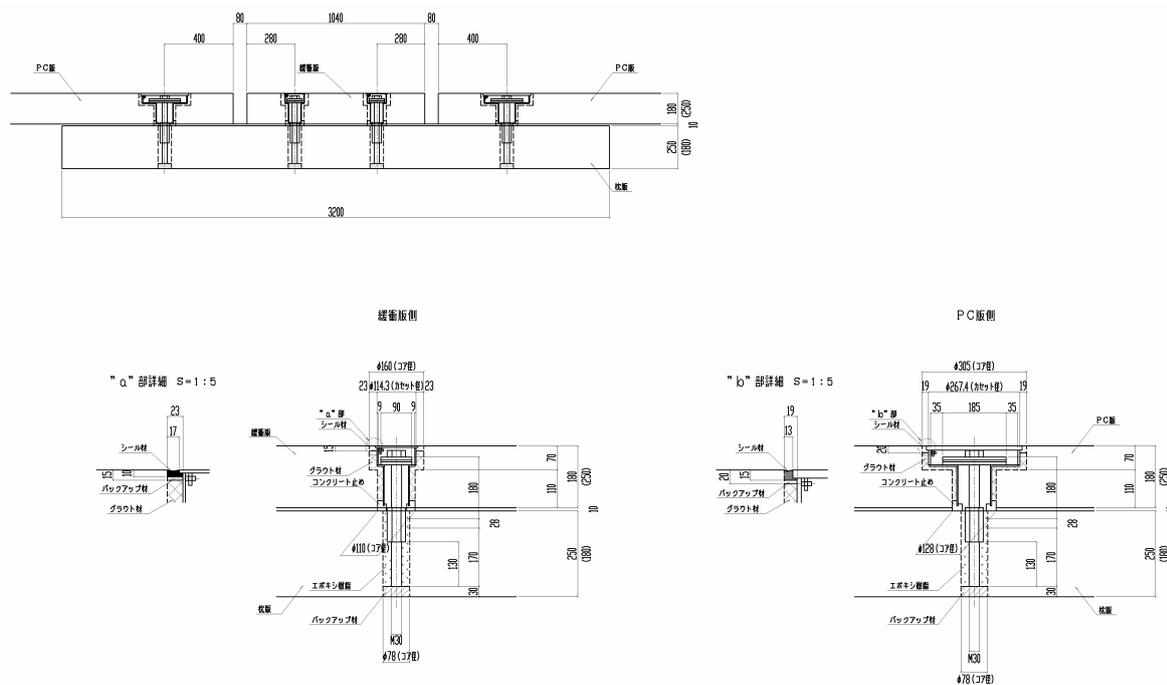


図-55 PC 版用、緩衝版用の締結ボルト構造の概要

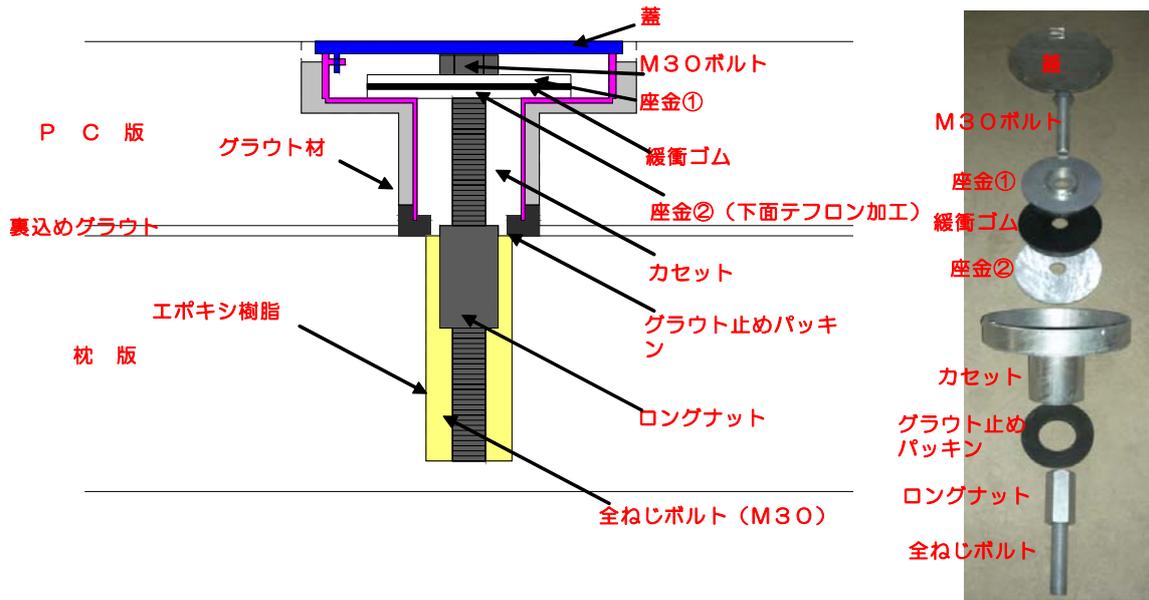


図-56 PC版用締結金具の詳細図

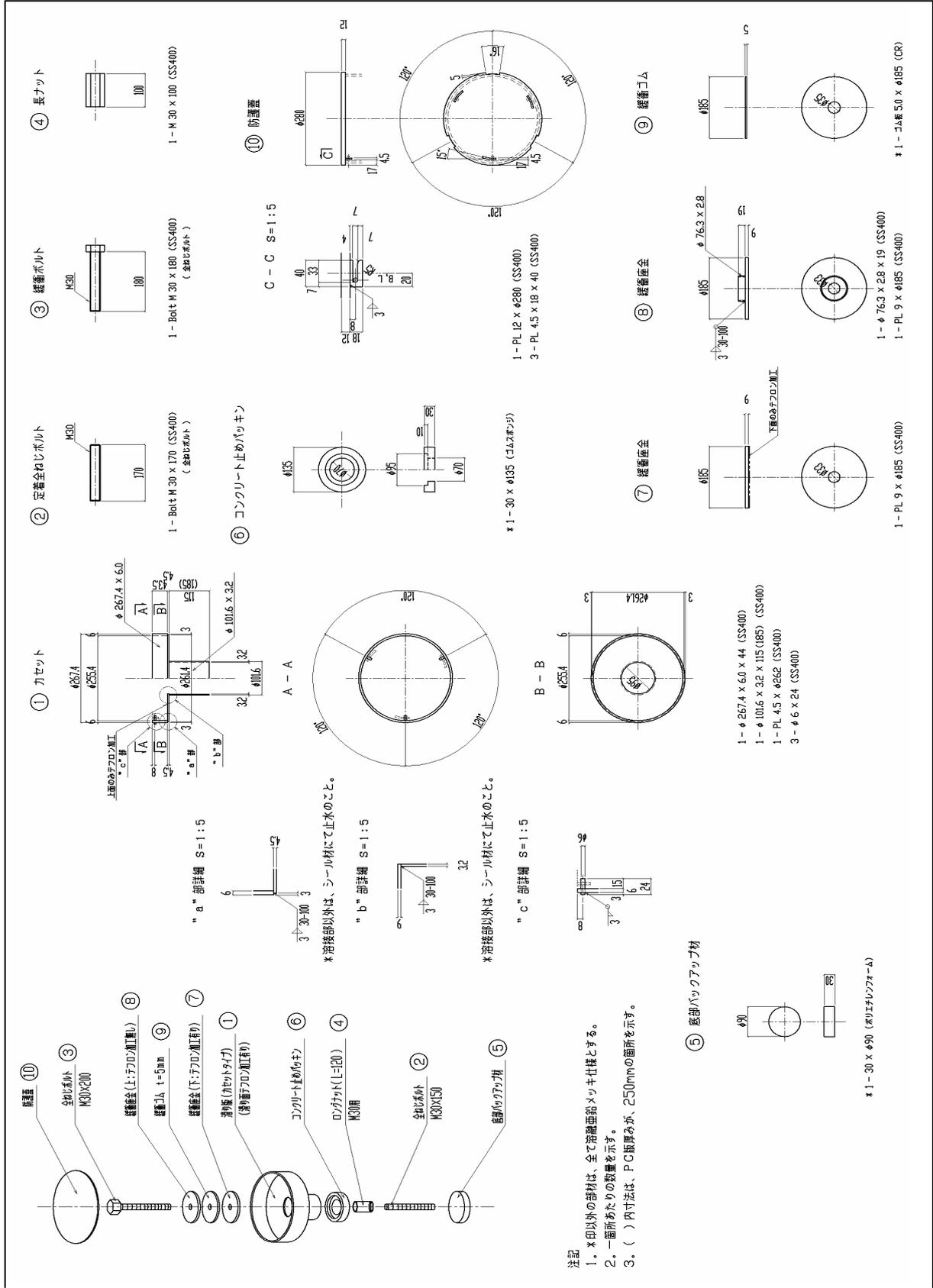


図-57 PC版用締結金具

(2) 締結金具の取り付け方法と課題点

締結金具の取り付けフローを図-59 に、a)コア削孔、b)カセット設置、c)無収縮グラウトの注入・養生、d)ボルト定着用エポキシ樹脂注入、e)ボルト・座金セット、f)ボルト・座金のばらし、g)ボルト締結力導入 に関する作業の概要と課題点を図-60～図-65 ならびに写真-12 にそれぞれ示す。

a) コア削孔

走行載荷試験時は、締結ボルトを設置することによる構造的な検討を行うことを主目的として行ったため、コア削孔は行わずあらかじめ孔を設けた PC 版、緩衝版を製作した。PC 版用のコア削孔径は、PC 版上面側からφ305mm、φ128mm、φ78mm とした。また緩衝版用のコア削孔径は、緩衝版上面側からφ160mm、φ110mm、φ78mm とした。

b) カセット設置

締結ボルトを配置した際にも、PC 版が温度伸縮に対してスムーズに移動するよう、カセットは設置治具を用いて PC 版に対して平行に作用するようにセットした。その際、カセットのまわりに充てんする無収縮グラウト材が PC 版下に漏れるのを防止するためのコンクリート止めのパッキンをカセット下にセットしたが、パッキンの反発力が強く設置治具が浮き上がる傾向にあった。今回は、コンクリート供試体を治具の上にセットすることにより、設置治具、カセットの浮き上がりを防止する処置を施したが、実施工では、パッキンの変更あるいはカセットが浮き上がらない重量の設置治具を使用する必要がある。

c) 無収縮グラウト注入、養生

無収縮グラウトの材料は、コア削孔部とカセット設置部の隙間が1cm程度と小さいため流動性に優れていること、材齢2時間で硬化していること、材齢28日ではPC版と同等以上の強度を有している材料を選定した。今回はプレキャスト PC 舗装版の目地部のジョイント（水平ジョイント）の充てんに用いられる材料 MG-5（三菱マテリアル（株））を使用した。

d) ボルト定着用エポキシ樹脂注入

エポキシ樹脂は、土木建築用低粘度型エポキシ樹脂ボンド E2300J（コニシ（株）製）を使用した。樹脂注入量をあらかじめ計算し、その分のエポキシ樹脂を注入する作業を行ったが、一部エポキシ樹脂の量が多く、ロングナットのネジ部にエポキシ樹脂が入ってしまった。

実施工では、エポキシ樹脂の注入量を少なめにしておき、エポキシ樹脂硬化後に、不足分を再注入する等の手順が良いものと考えられる。

e) ボルト、座金セット

樹脂注入後、全ねじボルト、ロングナット、M30 ボルト、座金①、緩衝ゴム、座金②を一体化させた状態でボルトをセットする。

f) ボルト、座金のばらし

ボルト、座金を取り外した際に、エポキシ樹脂の量が著しく減少している場合は再度エポキシ樹脂を追加注入する。

g) 締結力導入

エポキシ樹脂を注入後、材齢1日で40kNの締結力を導入した場合、締結力が半分以下に低下する結果となった。また材齢7日で同様な作業を行った場合、締結力は若干減少したが、材齢1日に比べて著しく抑制された。

以上、実施工を想定したケースにて締結金具の取り付けを実施したが、基本的には問題なく作業を行うことができた。しかし、g)ボルト締結力の導入 に関して、エポキシ樹脂を注入して材齢7日で締結力を導入した場合には、ボルト締結力の減少量は小さかったが、材齢1日でボルトに締結力を導入した場合には、ボルトの締結力が導入時に比べて半分以下に低下した。また PC 版と緩衝版のボルト締結力の減少量を比較した場合には、座金の面積が小さい緩衝版の方が、ボルト締結力が減少する傾向にあった。

そこで、これら締結力の減少量の要因を確認すること、アンカー部の耐力を確認することを目的に、アンカー部の材料の材齢を変化させた場合のボルト締結力の経時変化の測定試験、樹脂アンカー部の引抜き試験（アンカー部強度確認試験）と、図-56 に示す座金①と座金②の間に挟み込んだ緩衝ゴムの状態が締結力の減少に及ぼす影響を確認するための試験（緩衝ゴム改良試験）、ならびに締結力をトルクにて管理する場合のトルク値のばらつきを確認するための試験を実施した。

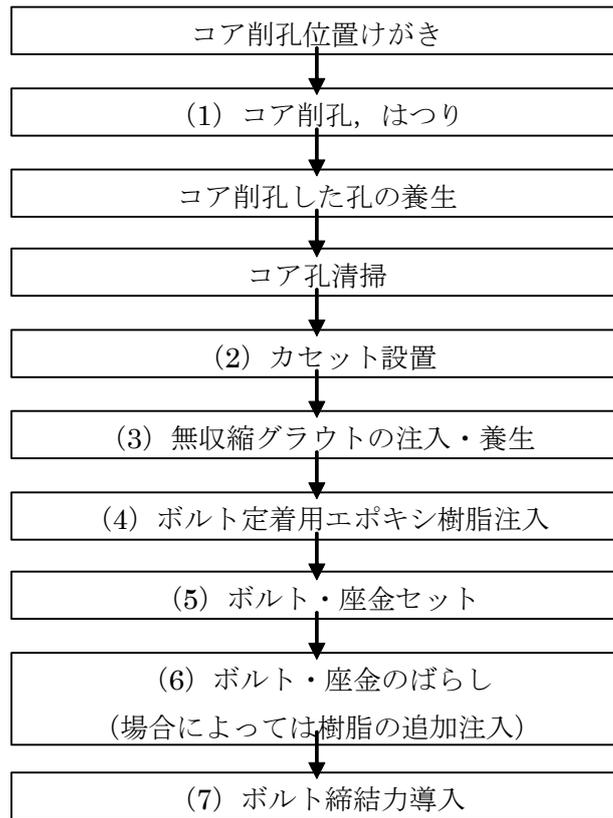


図-59 締結金具の取り付けフロー

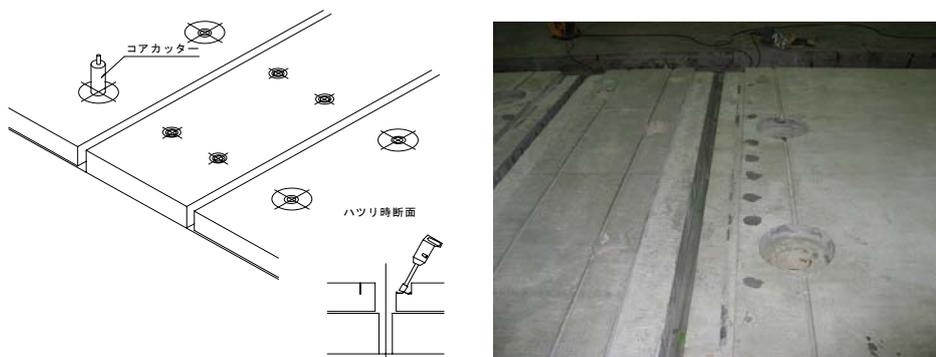


図-60 コア削孔

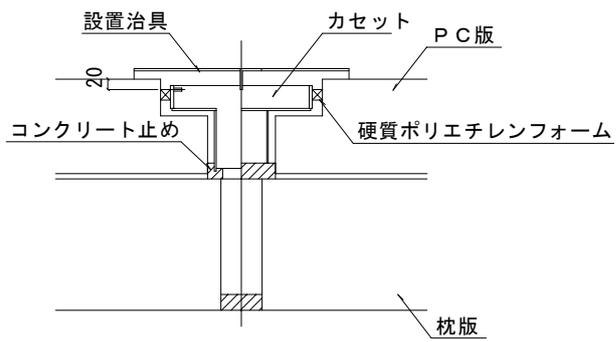


図-61 カセット設置

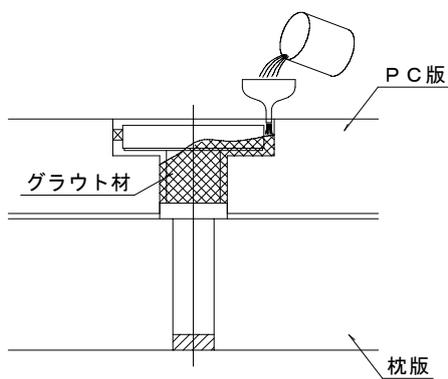


図-62 無収縮グラウト注入，養生

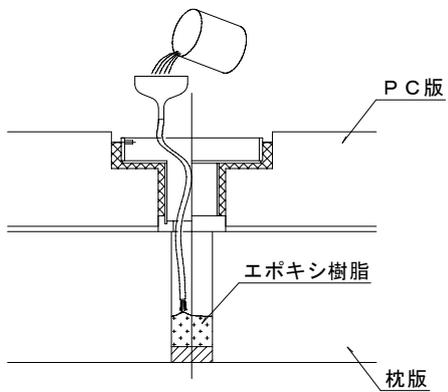


図-63 ボルト定着用エポキシ樹脂注入

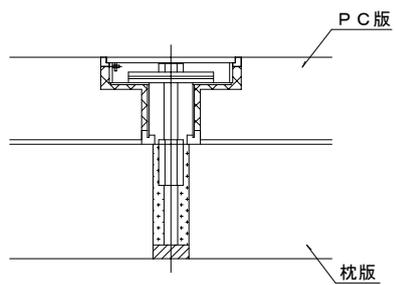


図-64 ボルト，座金セット

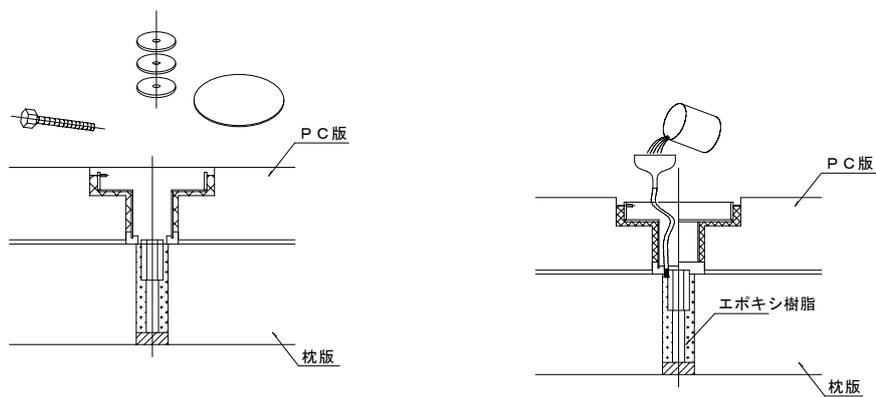


図-65 ボルト，座金のばらし



写真-12 締結力の導入状況

3.9 アンカー部の材料変形によるボルト締結力減少量確認試験

(1) 試験概要

ボルト締結を行う際のアンカー部について、材料の変形に伴うボルト締結力の減少量と引抜き耐力を実験的に確認することを目的に、定着ボルトをセットした後に、「ボルト締結力の経時変化測定試験」、「アンカー部の引抜き試験」を実施した。

試験ケースを表-32 に、試験に使用したコンクリート版の形状・寸法を図-66 にそれぞれ示す。試験は、アンカー定着用材料としてエポキシ樹脂とモルタル材料の2種類につき、材齢1日、7日でボルト締結力の経時変化測定試験をそれぞれ3ヶ所で行うとともに、材齢7日でアンカー部の引抜き試験を実施した。

また実構造物の枕版の厚さは250mmであるが、今回の実験では厚さ200mmのコンクリート版にφ78の孔を削孔し、定着アンカーをセットした後に試験を実施した。

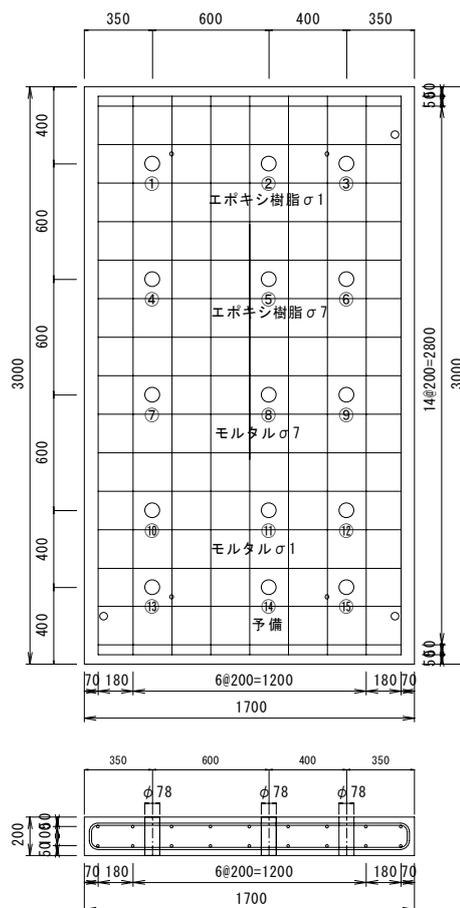


図-66 コンクリート版孔位置図

表-32 試験ケース

	ボルト締結力の経時変化測定試験		引抜き試験
	材齢1日	材齢7日	材齢7日
エポキシ樹脂	3ヶ所 (図-66①～③)	3ヶ所 (図-66④～⑥)	3ヶ所 (図-66④～⑥)
モルタル	3ヶ所 (図-66⑩～⑫)	3ヶ所 (図-66⑦～⑨)	3ヶ所 (図-66⑦～⑨)

(2) 試験手順と方法

a) 定着アンカーのセット

試験は、枕版を想定したコンクリート版(図-66)に、実際に施工する際と同一寸法のφ78の孔を削孔した後、エポキシ樹脂材料は写真-13、モルタルは写真-14に示す方法により材料を練混ぜた後に、写真-15、写真-16に示す方法により材料を注入した。アンカー部定着用材料は、表-33に示すものを使用した。



写真-13 エポキシ樹脂練混ぜ状況



写真-16 エポキシ樹脂注入状況



写真-14 モルタル練混ぜ状況



写真-17 アンカー固定状況



写真-15 エポキシ樹脂注入状況



写真-18 アンカー設置完了

表-33 アンカー部注入材料

材料名	主成分	用途	メーカー	比重
ボンド E2300J	エポキシ樹脂	土木建築用低粘度型 エポキシ樹脂	コニシ(株)	1.2±0.10
キューテックス Type-A	特殊セメント 無機系	セメント系 アンカーボルト定着材	電気化学工業(株)	2.85

b) ボルト締結力の経時変化測定試験

ボルト締結力の経時変化測定試験の概要を写真-19 ならび図-67 に示す。

試験は、アンカー部に埋め込んだロングナットを介して、M30 ボルトをひずみ管理により所定の締結力(40kN)までスパナにより手動で導入し、その後一定の時間間隔でひずみを計測し、ボルト締結力の経時変化を測定した。今回の試験では、走行載荷試験を行った際に使用したボルトを使用した。試験前には、ボルトの荷重-ひずみの関係を再確認するために、センターホールジャッキを用いて、写真-20 に示すような方法でボルトのキャリブレーションを行い、ボルトの締結力と発生ひずみの関係(図-68)を確認した。



写真-19 ボルト設置状況

c) アンカー部の引抜き試験

アンカー部の引抜き試験の概要を図-69 に、引き抜き試験の状況を写真-21 にそれぞれ示す。本試験は、材齢7日経過したアンカーに対して、センターホールジャッキを用いて載荷した。前述のPC版と緩衝版との連続性を確認するための静的載荷試験では、ボルトに5kN~40kNの締結力を導入した供試体に対して、載荷に伴うボルト張力の変動が10kN程度に収まっていること、走行載荷試験時のボルト張力の振幅も20kN程度で収まっていることから、本試験は、ボルト締結力の3倍である120kNまで3回の繰り返し加力を実施するとともに、そのうちの1ヶ所はボルト降伏荷重相当(170kN)まで載荷した。

なお載荷荷重はロードセルにより、基部に発生する変位は写真-22 に示すような方法により測定した。



写真-20 ボルトキャリブレーション状況

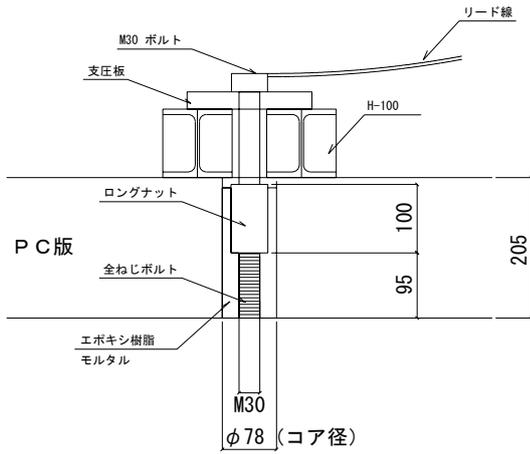


図-67 ボルト設置図



写真-21 引抜き試験状況

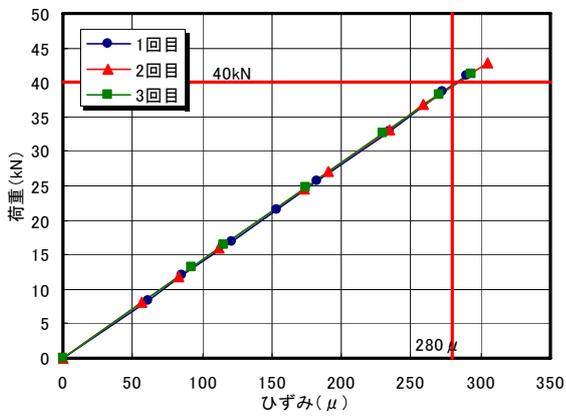


図-68 キャリブレーション結果



写真-22 変位測定状況

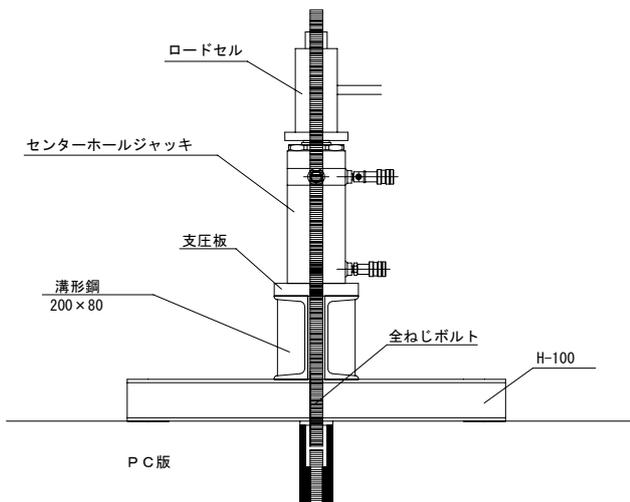


図-69 引抜き試験の概要

(3) 試験結果と考察

a) ボルト締結力の経時変化測定試験の結果

材齢 1 日において締結力を導入してからの経過時間とボルトひずみの変化量を測定した結果を表-34 ならびに図-70 に、材齢 7 日において締結力を導入してからの経過時間とボルトひずみの変化量を測定した結果を表-35 ならびに図-71 にそれぞれ示す。表-34、表-35 に示す結果は、それぞれ締結力を導入してから 2 時間～2 時間半程度の測定後の値を示す。

アンカー定着用材料にエポキシ樹脂を用いた場合は、材齢 1 日でボルトに 40kN の締結力を導入しても締結力の減少が著しく、90%以上の締結力の減少が認められた。一方、アンカー定着用材料にモルタルを用いた場合は、ボルト締結力の減少が 10%程度に収まった。

材齢 7 日で 40kN の締結力を導入した場合は、エポキシ樹脂を用いた場合でもボルト締結力の減少が最大で 11%程度、モルタルの部分は 6%程度に収まった。

今回の実験結果より、走行載荷試験を実施する際にアンカー定着用材料を注入した初期段階でボルト締結力が著しく低下した要因は、定着用材料の影響であることを確認した。また両材料とも、材齢 7 日でボルトに締結力を導入した場合は、40kN のボルト締結力に対して減少量は 10%程度であることを確認した。

b) アンカー部の引抜き試験の結果

アンカー定着用材料としてエポキシ樹脂ならびにモルタルを使用し、120kN まで加力したときの荷重と基部の変位の結果を図-72 に、ボルト降伏荷重の 170kN まで載荷したときの荷重と基部の変位の結果を図-73 にそれぞれ示す。

図-72 に示す 120kN までの繰返し試験の結果より、エポキシ樹脂、モルタルともに荷重-変位の挙動は比例関係にあり、特に大きな変化は認められなかった。またアンカー部分及び周辺のコンクリートにも変化も認められなかった。なお 120kN 加力時の基部の変位は、エポキシ樹脂は平均 0.5mm 程度、モルタルの変位は平均 0.3mm 程度であった。

図-73 に示すボルト降伏荷重(170kN)までの加力も 120kN までの加力と同様に、荷重-変位の挙動は比例関係にあり、アンカー部分および周辺のコンクリートにも変化は認められなかった。

今回の実験結果より、エポキシ樹脂、モルタルともに、アンカー部に必要な耐力は、十分に有しているものと考えられる。現場において樹脂を注入する箇所が湿潤あるいは水中環境であることを考えると、水中環境下においても施工が可能なエポキシ樹脂が有利と考えられること

から、後述する走行載荷試験においてエポキシ樹脂材料を採用し、繰返し荷重に対しても問題ないことを実証したが、モルタル材料についても、繰返し荷重に対しての挙動を確認する必要があるものと考えられる。

表-34 材齢1日後のボルト締結力試験の結果

ボルトNo.	導入時ひずみ (μ)	経過時間	ひずみ (μ)	ひずみ減少量 (μ)	減少率 (%)
樹脂No.1	273	2:27	7	266	97%
樹脂No.2	281	2:26	10	271	96%
樹脂No.3	283	2:25	24	259	92%
モルタルNo.1	270	2:23	233	37	14%
モルタルNo.2	281	2:16	250	31	11%
モルタルNo.3	286	2:15	262	259	8%

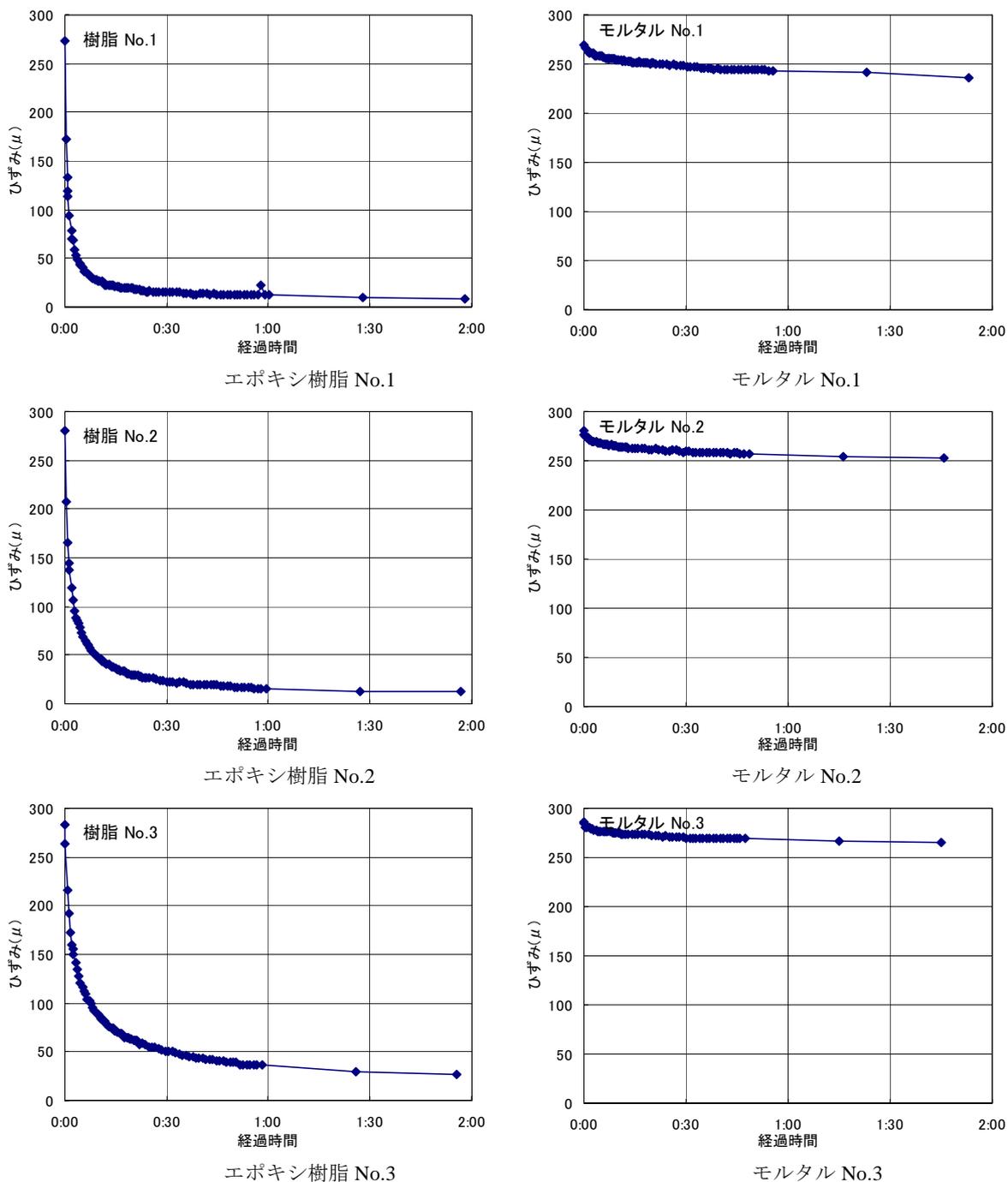


図-70 材齢1日後のボルト締結力試験の結果

表-35 材齢 7 日後の締結力試験の結果

ボルトNo.	導入時ひずみ (μ)	経過時間	ひずみ (μ)	ひずみ減少量 (μ)	減少率 (%)
樹脂No. 1	280	2:16	248	32	11%
樹脂No. 2	281	2:15	250	31	11%
樹脂No. 3	288	2:02	266	22	8%
モルタルNo. 1	281	2:11	263	18	6%
モルタルNo. 2	274	2:05	258	16	6%
モルタルNo. 3	277	2:04	265	12	4%

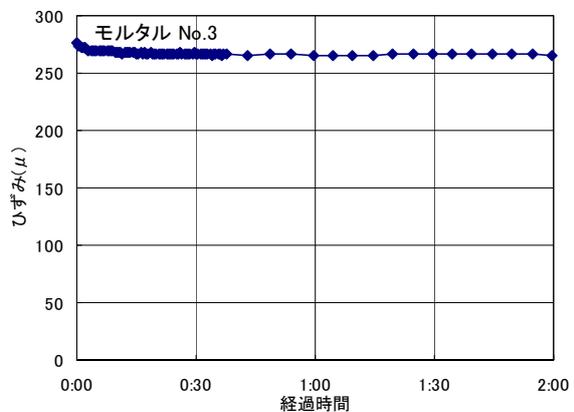
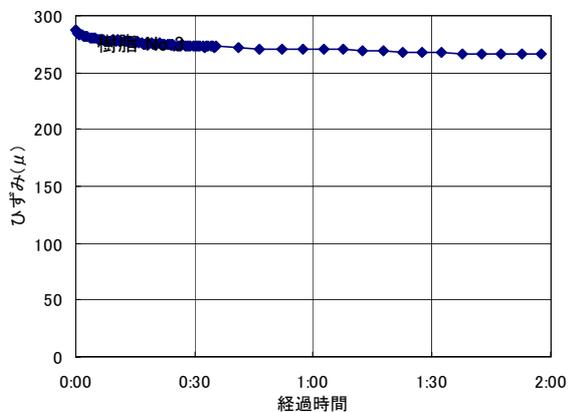
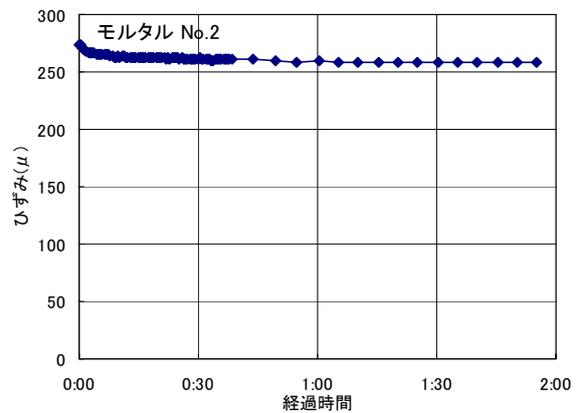
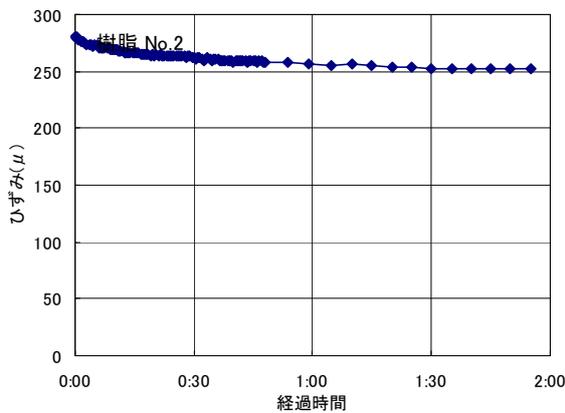
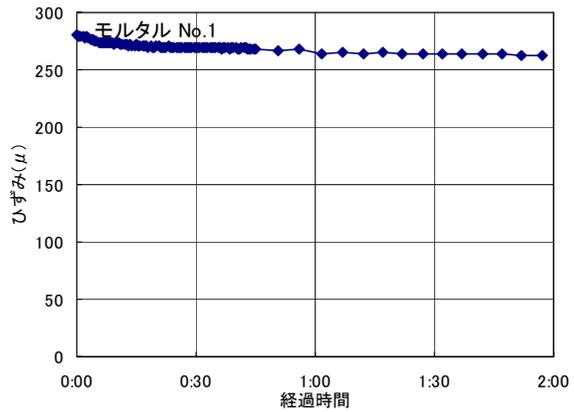
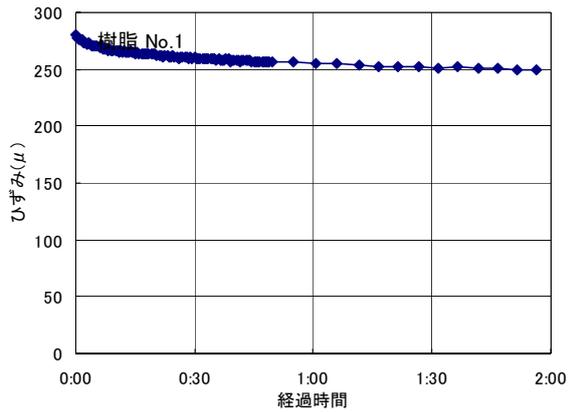


図-71 材齢 7 日後のボルト締結力試験の結果

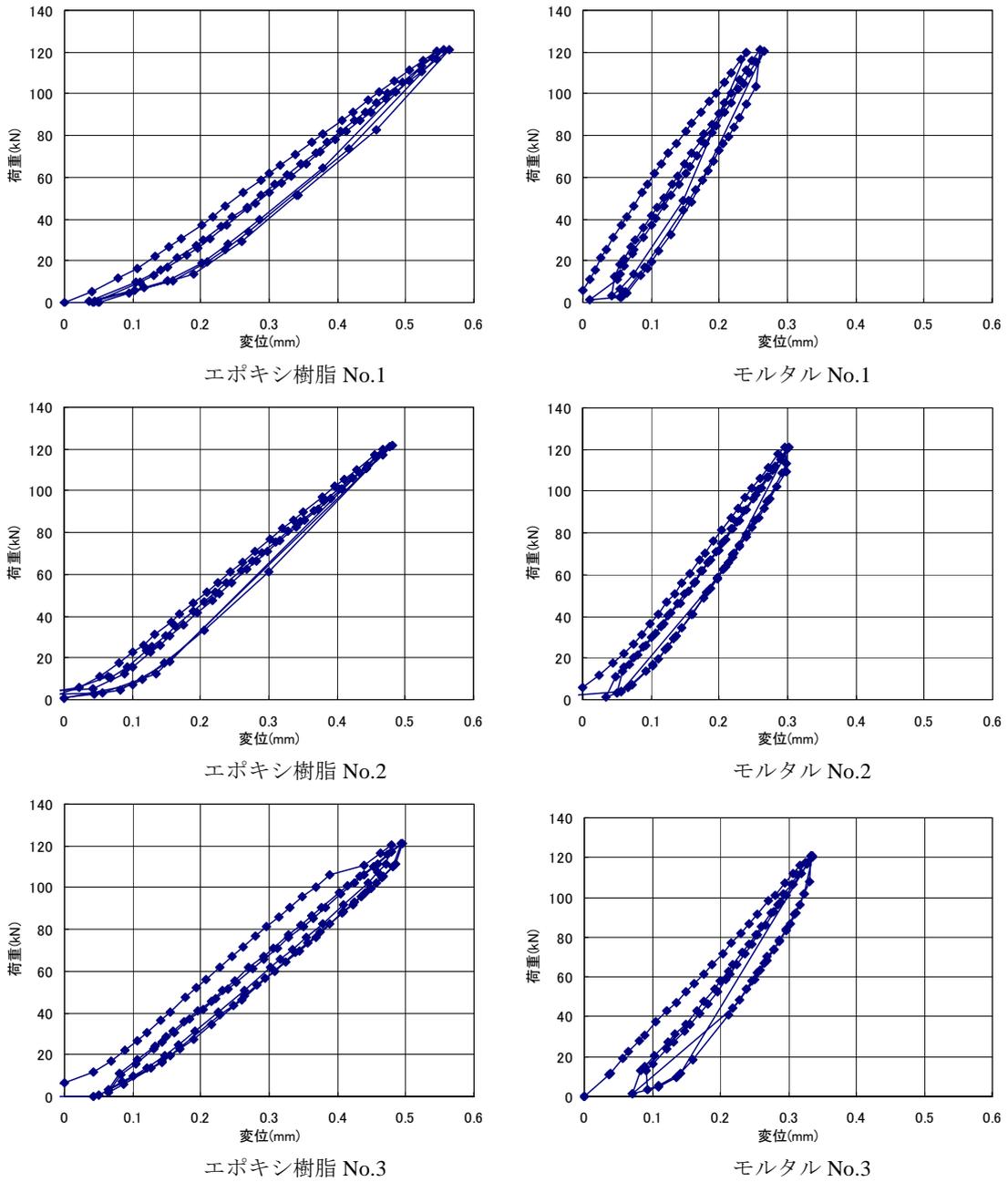
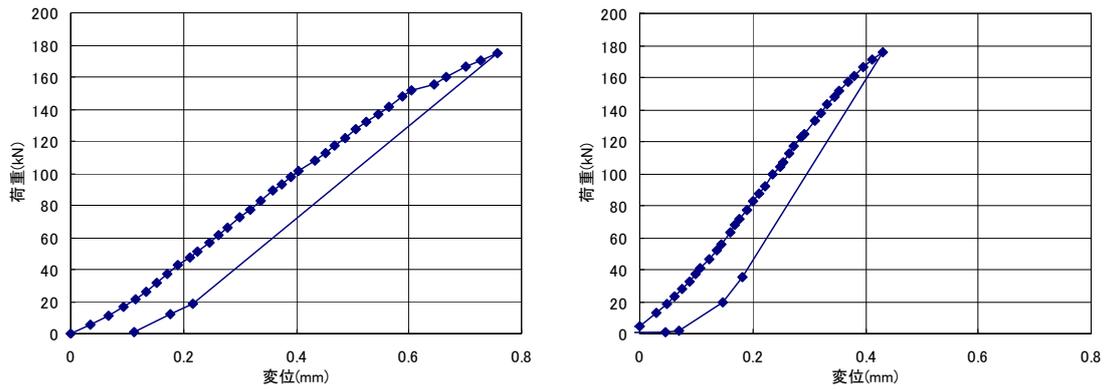


図-72 アンカー部の引抜き試験の結果



エポキシ樹脂

モルタル

図-73 引抜き試験結果（ボルト降伏荷重）

表-36 供試体諸元

No.	ゴムの硬度	ゴムの厚さ (mm)	ゴムの大きさ (mm)	ゴムと座金の 接着
1	80	5	φ 90	なし
2	60	3	φ 90	なし
3	60	5	φ 80	なし
4	80	5	φ 80	なし
5	60	5	φ 90	あり
6	80	5	φ 90	あり
走行載荷試験	60	5	φ 90	なし

表-37 締結力導入試験（緩衝ゴム改良）

ボルト No.	導入時ひずみ (μ)	経過時間	ひずみ (μ)	ひずみ減少量 (μ)	減少率 (%)
No.1-1	269	15:30	191	78	29.0
No.1-2	226	15:30	167	59	26.1
No.2-1	303	0:24	130	173	57.1
No.2-2	286	0:24	128	158	55.2
No.3	276	0:24	126	150	54.3
No.4	295	0:24	156	139	47.1
No.5	308	15:30	253	55	17.9
No.6	315	15:30	268	47	14.9

3.10 緩衝ゴム変形によるボルト締結力減少量確認試験

(1) 試験概要

本試験では、走行載荷試験時のボルト締結力の導入において、締結力の低下の割合が高い緩衝版部の締結金具を対象に、**図-74**に示す座金①と座金②の間に挟み込んだ緩衝ゴムのゴム硬度・厚さ・大きさ・座金との接着という改良を加えた場合に、時間の経過に伴うボルト締結力の減少量の測定を行った。試験パラメータを表-36に示す。

締結力の経時変化の測定は、ボルトに貼付したひずみゲージにより行った。なおボルト締結力は、軸力 40kN に相当する 280 μ を目標に導入した。ゴムと座金の接着は、市販されている瞬間接着剤を使用した。

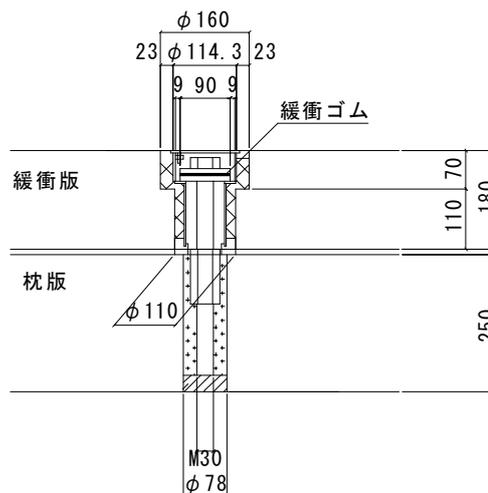


図-74 緩衝版用締結金具の概要

(2) 試験結果と考察

締結力導入後の経過時間とボルトひずみの関係を**図-75**に、各試験シリーズのひずみ減少量をまとめた結果を表-37にそれぞれ示す。なおここに示すボルト締結力の減少率は、緩衝ゴムの影響に加え、アンカー部の影響による締結力の減少も含んだ値を示す。

走行載荷試験時に実施した構造に対して、ゴムの硬度を80と硬くしたNo.1は、硬度60の場合と同じくひずみは約26~29%減少した。ゴムの厚さを3mmに薄くしたNo.2は、締結力導入時に比べて55~57%ひずみが減少した。横方向への変形を抑える効果を期待し、ゴムの直径を座金より10mm小さくしたNo.3、No.4は、それぞれ締結力導入時に比べて54%と47%のひずみが減少した。横方向への変形を抑える効果を期待し、ゴムと上下の座金を接着剤により一体化したNo.5、No.6は、それぞれ締結力導入時に比べて18%と15%とひずみの減少量が小さく、締結力の減少の抑制に大きな効果があると考えられた。

今回の実験結果より、緩衝ゴムの影響による締結力の減少を抑制するための対策としては、緩衝ゴムの上下面を接着剤にて接着し、一体化する構造が最も効果があり、その場合ゴム変形とアンカー樹脂の変形を含む締結力の減少量がゴムの硬度が60で18%、ゴムの硬度が80で15%であり、ゴム硬度が締結力の減少に及ぼす影響は小さかった。よって実施の際に使用する緩衝ゴムは硬度60とし、ゴムと座金の界面は接着剤を使用し、座金と緩衝ゴムを一体化した構造を用いるものとする。

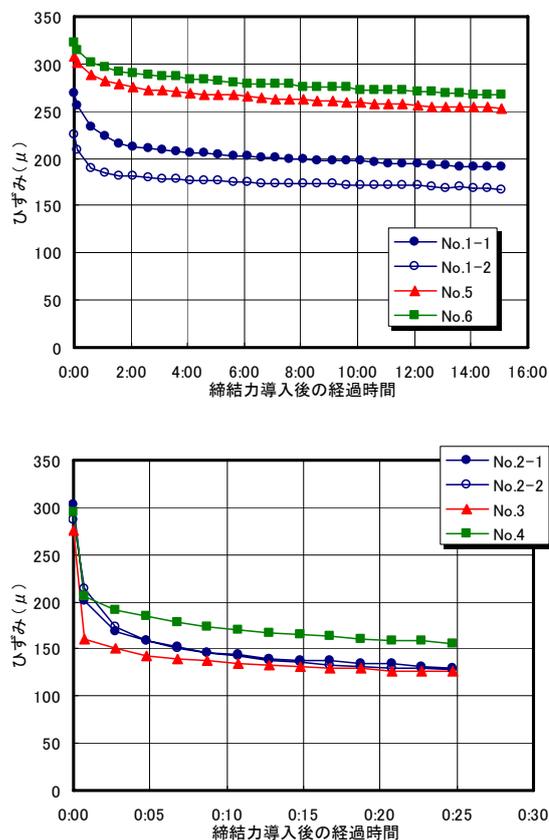


図-75 締結力導入後の経過時間とボルトひずみの関係

3.11 トルク値のばらつき確認試験

(1) 試験概要

4章に示す走行載荷試験におけるボルト締結力の管理は、ボルトに貼付したひずみゲージにより行った。しかし実施工でひずみゲージにより締結力を管理することは現実的ではないことから、ここではボルト締結力の管理方法として、トルクにより管理する手法について検討した。

締付トルクと軸力の関係に関しては、以下の関係が成り立っている。

$$T=K \cdot d \cdot N$$

ここに、

T：締付トルク(N・m)、

K：トルク係数、

d：ボルトの呼び径(m)、

N：軸力(N)

ここでトルク係数 K は、一般に 0.2 程度の値が示されているが、潤滑剤、被締付体の機械的要因、環境、締付速度、ねじの繰返し使用等の影響により変動する傾向にある。

本試験では、走行載荷試験を行った図-76 に示す PC 版 4ヶ所 (図-76 の No.1, No.2, No.7, No.8)、緩衝版 4ヶ所 (図-76 の No.3, No.4, No.5, No.6) の計 8ヶ所のボルト孔を使用し、トルクレンチを用いて締め付けトルクの試験を行った。

試験手順は、トルクレンチを用いてトルク値を 60N・m (軸力 10kN) ごとに増加させながらひずみを計測し、360N・m (軸力 60kN) までの締結力を導入した。この作業をボルト孔 No.1~No.8 に対して 5 回ずつ行い、トルク値とひずみ (軸力) の関係を測定した。なおトルク値 60N・m は、トルク係数 K=0.2、ボルトの径 d を 0.03(m)、軸力 N=10000(N)として算出した値である。

(2) 試験結果と考察

No.1~No.8 のボルト孔につき、それぞれ 1 回目から 5 回目までの試験に対してトルク値とボルトひずみの関係を示したグラフを図-77 に示す。

本試験に示すトルクとひずみの関係より、全ての試験においてトルク値と鋼材ひずみは比例の関係にあることを確認した。

この結果をもとに、トルク値と鋼材ひずみの近似曲線を算出し、40kN (ボルトひずみ 280μ) の締結力に相当

するトルク値を試験毎に算出した結果を図-78 に示す。図中に示す太線は、同一ボルト孔に対して 5 回試験をした際の平均値を、点線は平均値に対して +10%、-10% に相当する値を示す。

図に示す結果より、同一ボルト孔に対しては、40kN の締結力を導入した際のトルク値のばらつきは、平均値に対してほぼ 10%以内(4kN)に収まる傾向にあった。しかしボルト孔 No.4, No.8 は、他の箇所比べてばらつきが大きく、40kN に相当するトルク値も大きい傾向にあった。この理由は、今回の実験ではアンカー部に充てんするエポキシ樹脂の量が多く、ボルトをセットした段階でエポキシ樹脂がロングナットのねじ部分に浸入し、ボルトが回りにくくなったためトルク値が上昇し、同一締結力に対してのトルク値のばらつきも大きくなったものと考えられる。

図-79 は、各ボルト孔の 40kN (ボルトひずみ 280μ) の締結力に相当するトルクの平均値をまとめたものである。左図はボルト孔 No.1~No.8 全てのデータに対してのトルク値-ひずみ関係図を示し、右図はエポキシ樹脂がねじ山に浸入し、ねじ山の状態が変化した No.4, No.8 のデータを削除した値を示す。また図中に示す太線は、データの平均値を、点線は平均値に対して +20%、-20% に相当する値を示す。

図に示す結果より、ボルト孔が異なる場合は、40kN の締結力を導入するためのトルク値のばらつきも大きくなる傾向を示した。但し、エポキシ樹脂の影響によりねじ山がおかしくなった No.4 と No.8 を除けば、そのばらつきはほぼ 20%程度(8kN)以内に収まる傾向にあった。

今回の実験結果より、同一ボルト孔に対して 5 回の締結力の導入試験を実施した結果、40kN の締結力に対してのトルク値のばらつきは 10%程度以内であること、ねじ山にエポキシ樹脂が浸入した No.4, No.8 を除いたボルト孔の全ての値に対してのトルク値のばらつきは、20%程度以内であった。

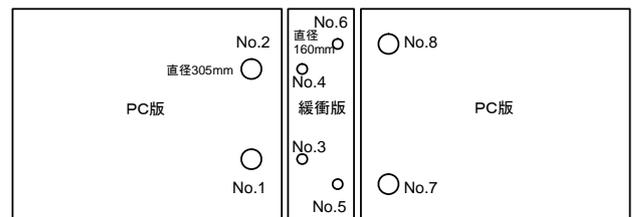
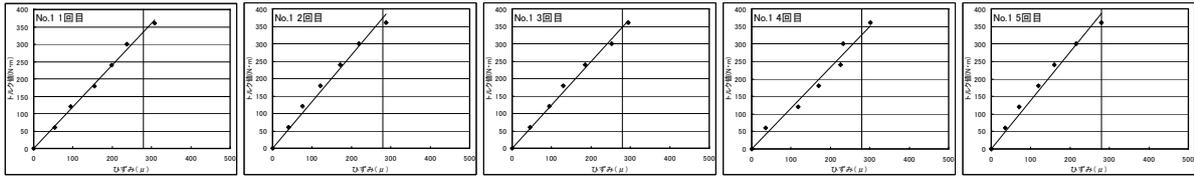
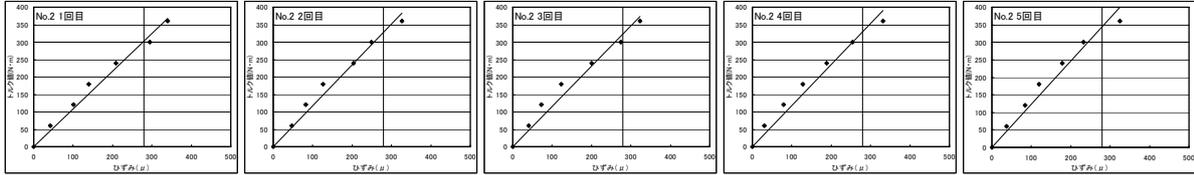


図-76 締結ボルト位置図

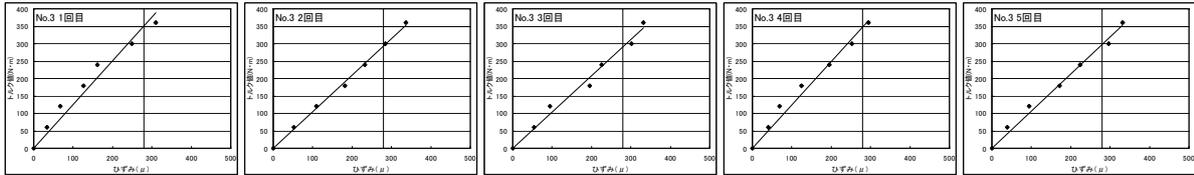
[No.1]



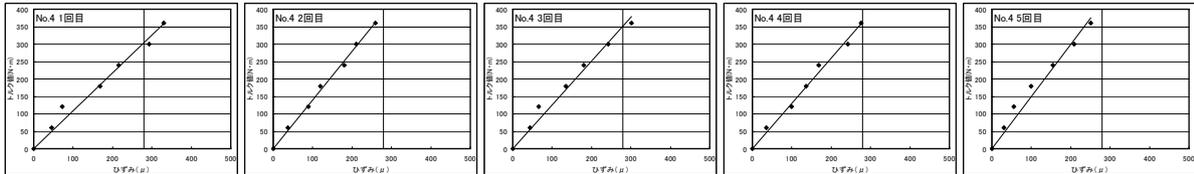
[No.2]



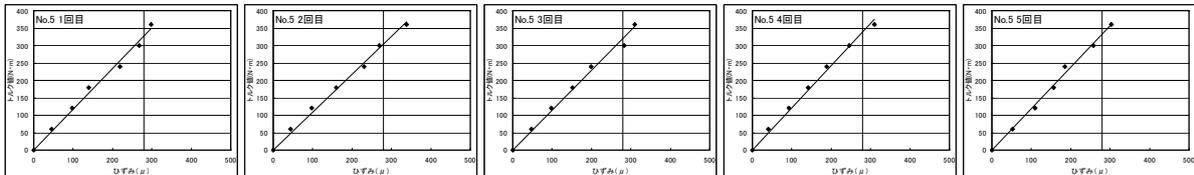
[No.3]



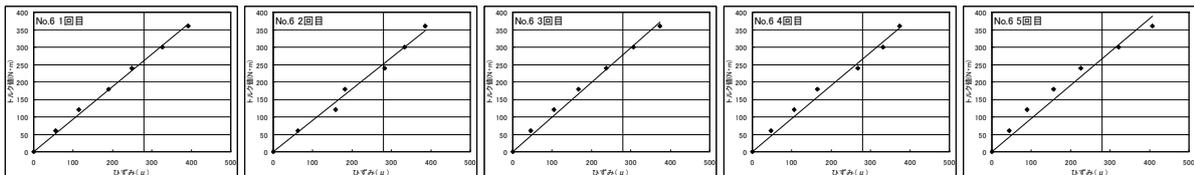
[No.4]



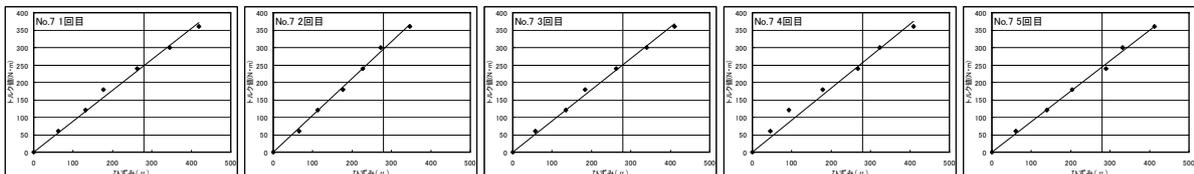
[No.5]



[No.6]



[No.7]



[No.8]

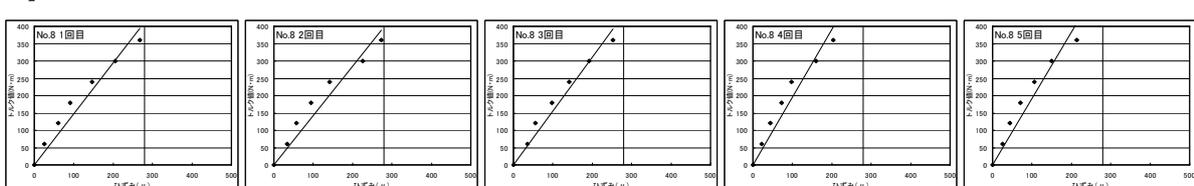


図-77 トルク-ひずみ関係図

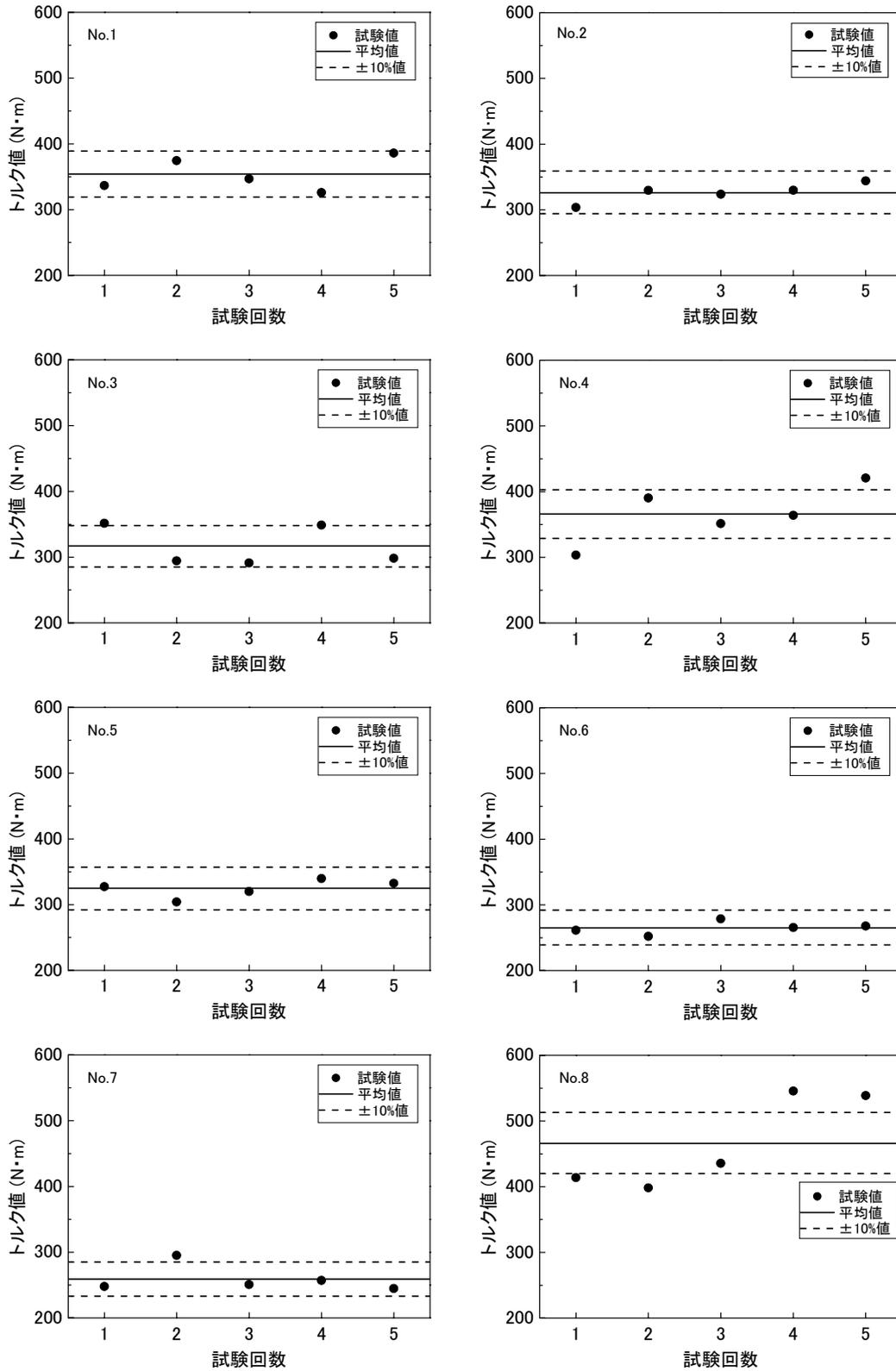


図-78 40kNの締結力に相当するトルク値

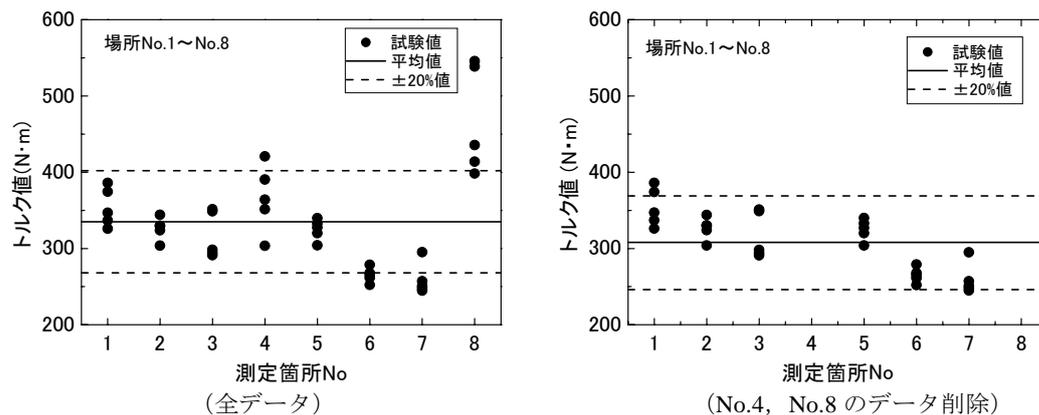


図-79 トルク-ひずみ関係図

表-38 ボルト締結力の減少に及ぼす影響

締結力減少の要因	①	②	③	④
	緩衝ゴム・アンカー樹脂の変形	トルクのばらつき	PC版の温度伸縮	PC版と路盤とのなじみ
緩衝版	40kNの締結力に対して最大20%程度(8kN)	40kNの締結力に対して20%(8kN)	—	最大で10kN程度
PC版	ゴムの面圧が緩衝版に比べて小さいため、上記以下(8kN)	40kNの締結力に対して20%(8kN)	最大で10kN程度	最大で10kN程度
備考	3.10 緩衝ゴム改良試験の結果より	3.11 トルク値のばらつき確認試験の結果より	3.4 PC版の温度伸縮を模擬したスライド試験(2)の結果より	走行載荷試験の結果より

3.12 ボルト締結力の管理方法

今回の実験より、ボルト締結力の減少に及ぼす影響をまとめた結果を表-38に示す。

締結力減少の要因としては、①緩衝ゴム・アンカー樹脂の変形、②トルクのばらつき、③PC版の温度伸縮に伴う版の移動による変動、④航空機荷重の作用に伴うPC版と路盤のなじみ（荷重作用により路盤が圧密されることによるものなじみ）、による影響が考えられた。

①の緩衝ゴム・アンカー樹脂の変形による締結力の減少は、40kNの締結力に対して最大で8kN程度の低下であった。

②のトルク値のばらつきは、同一ボルト孔に対して5回の試験を行った結果、40kNの締結力に対して10%程度、ボルト孔全体に対して20%(8kN)程度の低下であった。

③のPC版の温度伸縮に伴うボルト締結力の変動は、スライド試験(2)の結果より最大で10kN程度の低下であった。

④のPC版と路盤とのなじみは、走行載荷試験の結果より最大で10kN程度の低下であった。

このうち③については、締結金具の取り付け方法、PC版の温度伸縮による移動量等により変化することが予想されること、④については走行載荷試験場と実際に何回も繰り返し走行が行われた現地のエプロン舗装版下では状況が異なることが予想される。

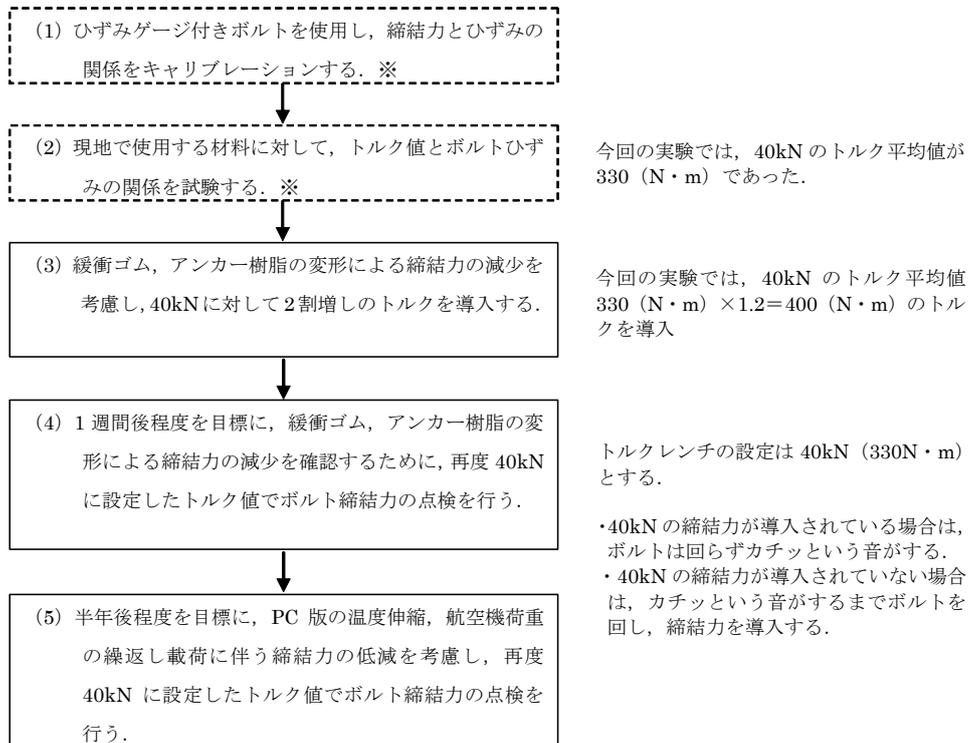
またボルトに過度な締結力を導入した場合は、PC版の温度伸縮に対してボルトが変形してしまう可能性があること、ボルト締結力がPC版と枕版に生じる隙間に及ぼす影響については、PC版と緩衝版の連続性を確認するための静的載荷試験の結果より、ボルト間隔が2.2mの場合、ボルト締結力が40kNでも20kNでもほぼ同等な値であること（図-50）、走行載荷試験の結果より、ボルト間隔が1.1m、2.2mの場合、ボルト締結力が30kN程度に低下していても、PC版と枕版に生じる隙間に大きな差は生じなかったことから、ボルト締結力が20~30kN程度に低下してもポンピング現象、グラウト材の粉砕化が生じる可能性は非常に小さいものと考えられる。

そこでボルト締結力の管理は、ボルト締結力の減少が確実な①の緩衝ゴム・アンカー樹脂の変形による減少量(8kN)に対しての締結力を余分に与え、締結力導入から1週間後に①による締結力の減少を確認するため、半年程

度経過後には③PC版の温度伸縮, ④航空機の繰り返し载荷によるPC版と路盤のなじみによる締結力の減少を確認するため, 40kNの締付力に設定したトルク値でボルト締結力の点検を行う方法を提案する.

なおアンカー部の材料としてエポキシ樹脂を使用する場合は, 最低でも1週間は材料の養生を行った後に締

結力を導入する必要があるが, この養生期間はエプロン供用に影響を及ぼすものではない.



※締結ボルトの直径が変更する場合, ボルトのねじ山, 締結金具の構造が変更になった場合は, 適宜試験を実施する.

図-80 ボルト締結力の管理フロー

3.13 締結金具の構造・取り付け方法およびボルト締結力管理方法のまとめ

一体化構造を既設 PC 舗装版に採用するために、締結金具の構造・取り付け方法ならびにボルト締結力の管理方法についてまとめた結果を以下に示す。

(1) 締結金具の構造・取り付け方法

締結金具は、全ねじボルト、ロングナット、アンカー定着用材料（エポキシ樹脂あるいはモルタル系材料）、グラウト止めパッキン、カセット、カセットと既設舗装版を一体化させるためのグラウト材、座金、緩衝ゴム、ボルト、蓋から構成した。

実施工を想定したケースにて締結金具の取り付けを行ったが、基本的には問題なく作業を行うことができた。但しボルトのアンカー定着用材料にエポキシ樹脂を用いてボルト締結力を導入する場合には、材料を注入してから 1 週間は養生する必要がある。

アンカー定着用材料としてエポキシ樹脂とモルタル系材料を使用した引抜き試験を行った結果、ボルト降伏荷重(170kN)相当の荷重に対しても、特に異常は認められなかった。

緩衝ゴムと座金を接着し一体化することにより、ゴム変形による締結力を減少することが可能である。

(2) ボルト締結力の管理方法

ボルト締結力の減少に及ぼす要因は、①緩衝ゴム・アンカー樹脂の変形、②トルクのばらつき、③PC 版の温度伸縮による版の移動による影響、④PC 版上に繰り返し航空機荷重が作用することによる PC 版と路盤とのなじみによる影響 があり、①、②はそれぞれ最大で 8kN 程度、③、④はそれぞれ最大で 10kN 程度の減少が考えられる。

一方で、ボルトに過度な締結力を導入した場合には、PC 版の温度伸縮によりボルトが変形する可能性があること、また PC 版と緩衝版の連続性を確認するための静的載荷試験の結果より、ボルト間隔が 2.2m 程度であればボルト締結力が 20kN でも 40kN でも PC 版と枕版との間に生じる隙間はほぼ同等、走行載荷試験の結果でも、ボルト締結力が 30kN 程度に低下しても、PC 版と枕版との間に生じる隙間はほぼ同等であることが確認された。

そこでボルト締結力に関しては、締結力導入時に 40kN の締結力の 1.2 倍（①緩衝ゴム・アンカー樹脂の変形による締結力の減少量を考慮）を導入し、その後 1 週間後（①緩衝ゴム・アンカー樹脂の変形）と半年後程度（③PC 版の温度伸縮による版の移動による影響、④PC 版上

に繰り返し航空機荷重が作用することによる PC 版と路盤とのなじみによる影響）を目安に、トルクレンチに 40kN の締結力相当のトルク値を設定して、ボルトの点検を行う方法を提案する。

3.14 まとめ

場所打ち PC 舗装版の版端部の「ポンピング現象」を改善するための構造的対策として、PC 版の端部と緩衝版をそれぞれ枕版と固定することにより、PC 版端部と緩衝版を一体化する構造について、

- ① 温度変化による PC 版の伸縮が、版端部にボルトを配置しても問題なく作用するか。
- ② ボルト締結力、配置間隔が、緩衝版と PC 版の一体化構造に及ぼす影響
- ③ PC 版への締結金具の取り付け方法ならびにボルト締結力の管理方法

についての検討を行った。その結果、以下の結論が得られた。

①については、PC 版の伸縮を模擬したスライド試験を実施した結果、締結金具内の滑り面にテフロン加工を施した材料を使用すること、ボルト径は締結力、せん断力の検討に加えて曲げ変形を考慮したボルト径を用いることで対応できることを確認した。

②については、PC 版端部を模擬した供試体を製作して静的載荷試験を行い、PC 版が枕版に全面的に支持された構造であれば、ボルトがない状態においても PC 版と枕版との間に生じる隙間の値は小さいこと、PC 版が枕版に支持されていない状況、載荷面付近の PC 版下に空隙がある状況では、締結ボルトを配置することによる PC 版と緩衝版の一体化の効果が確認できた。またボルトの配置間隔が 1.1m の場合は、ボルト締結力によらず一体化の効果があること、ボルト間隔が 2.2m、3.3m と広くなるに従い、ボルト締結力により PC 版と枕版との間に生じる隙間に差が生じる傾向を示した。

③については、4 章の走行載荷試験を実施する際に締結金具の取り付け試験を行い、基本的には問題なく作業を行うことができた。

ボルト締結力の減少に及ぼす要因は、(1) 緩衝ゴム・アンカー樹脂の変形、(2) トルクのばらつき、(3) PC 版の温度伸縮による版の移動による影響、(4) PC 版上に繰り返し航空機荷重が作用することによる PC 版と路盤とのなじみによる影響 があるため、これらの影響を考慮したボルト締結力の管理方法を提案した。

4. 走行載荷試験による検証

本章は、これまで検討した各種構造の適用性について、国土技術政策総合研究所が所有する航空機荷重載荷装置を用いた走行載荷試験により検証した結果についてまとめる。

4.1 PC版舗装の製作及び設置

(1) PC版の工場製作および設置

PC版の工場製作に関しての概要を図-81に、既設舗装の開削及び枕版、緩衝版、PC版の設置や目地構造の設置に関して、図-82～図-85に示す。

以下の手順により、PC版を航空機荷重原型載荷実験槽建屋内に設置した。

- ① PC版、緩衝版ならびに枕版を工場にて製作し、航空機荷重載荷実験槽建屋内まで運搬した。
- ② 実験槽内の既設アスファルト舗装を撤去し、粒状路盤の整形および再転圧を行った。
- ③ 図-86に示すとおり、基層(20)を用いて上層路盤を19cm(2層)にて施工した。
- ④ 枕版直下の不同沈下による空洞を想定し、脚荷重走行時に枕版の鉛直変位が大きくなるように、枕版の縁部に枕版支持用のコンクリート(圧縮強度 24N/mm²)を打設し、その上にゴム板(厚さ 45mm)を設置し、粒状材面と枕版下面の間に隙間を設けた。
- ⑤ 工場製作したPC版ならびに緩衝版を図-86に示すとおり設置した。
- ⑥ 図-87に示すように、版中央の目地部にレーザー変位計を設置した。なお、載荷槽内の水位を上げた場合の走行載荷試験を実施する際に、水膜に対してレーザー照射とならないように、枕版にアルミの反射板を設置した。レーザー変位計は、走行試験中のPC版-枕版間ならびに緩衝版-枕版間の相対垂直変位の計測に用いることから、枕版の変形に追従できるようにした。
- ⑦ 図-88に示したひずみゲージを貼り付けたボルトは、図-89のような締結金具設置用のボルトを通じて枕版と締結を行った。ひずみゲージの配線については、PC版ならびに緩衝版上面にあらかじめ設けた溝を用いて、ボルト設置部に取り付ける蓋やPC版上を走行するタイヤにより断線のないようにした。
- ⑧ 緩衝版とPC版の目地部は、2章で検討した第1案目地構造(図-90)を採用した。目地構造設置位置と車輪走行位置の関係を図-91に示す。走行載荷試験時のタイヤ走行位置は、脚中心が締結ボルトと締結ボルト

の中心を走行するようにした。

本試験に用いたゴム板、路盤-PC版間の剥離用シート、ひずみゲージの規格を表-39に示す。また、ひずみゲージを取り付けたボルトの概要と校正試験の結果を図-88に示す。ボルト締結力としては40kNを目標としたことから、校正試験の結果を参考に、ボルトのひずみとしては 280×10^{-6} 程度を目標にすることとした。

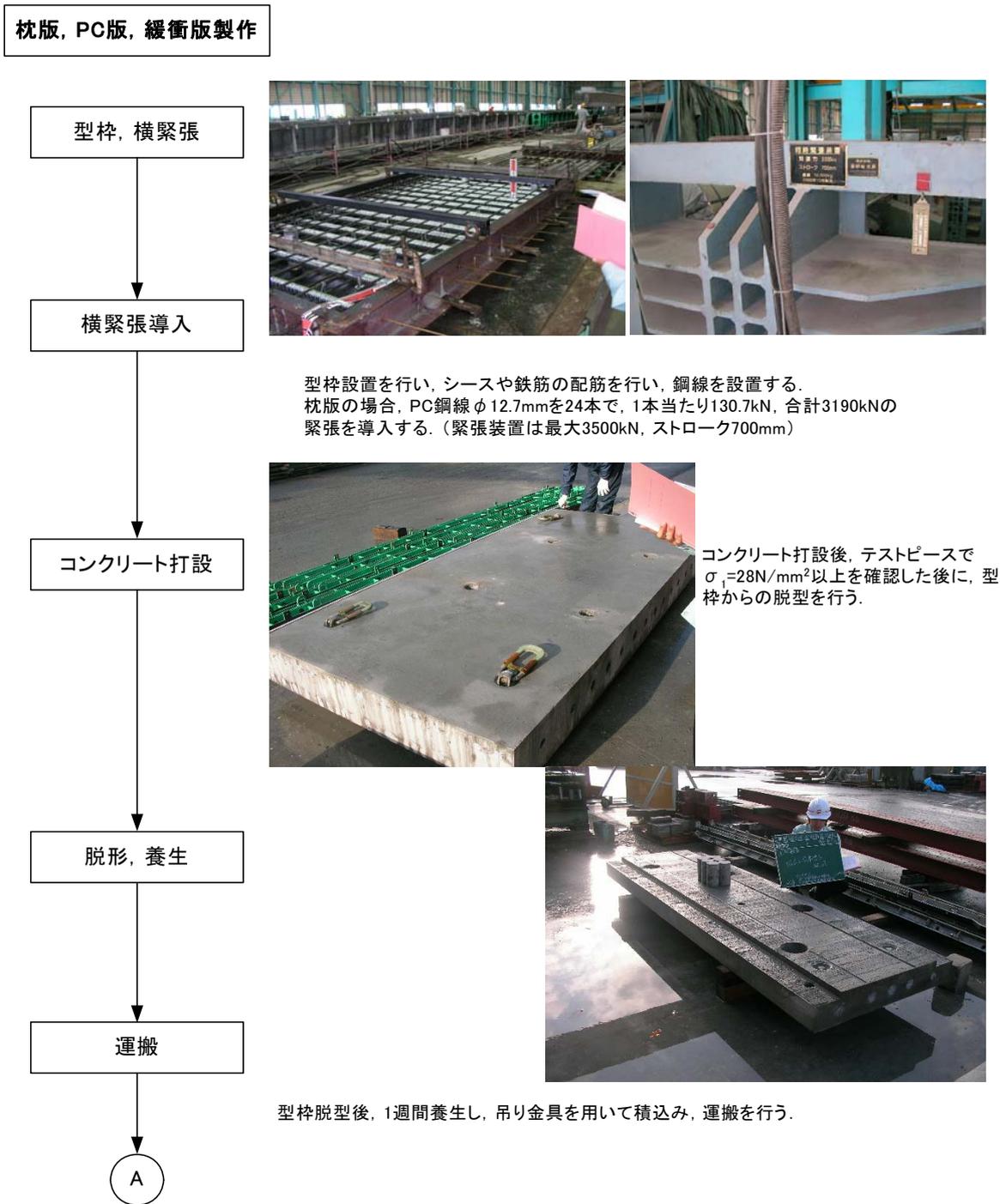


図-81 PC版の製作と運搬の作業フロー

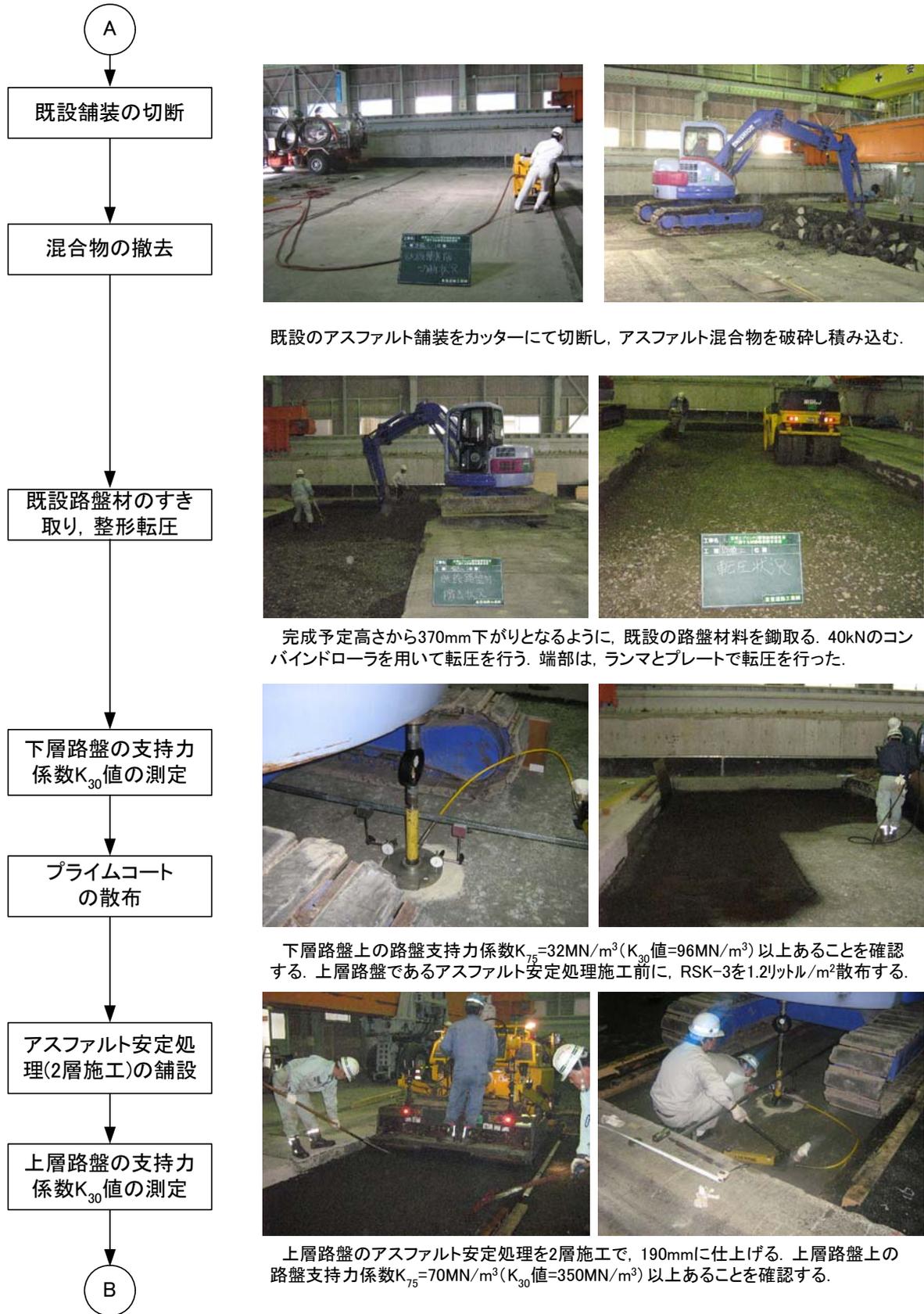


図-82 既設舗装の開削及び路盤工の作業フロー

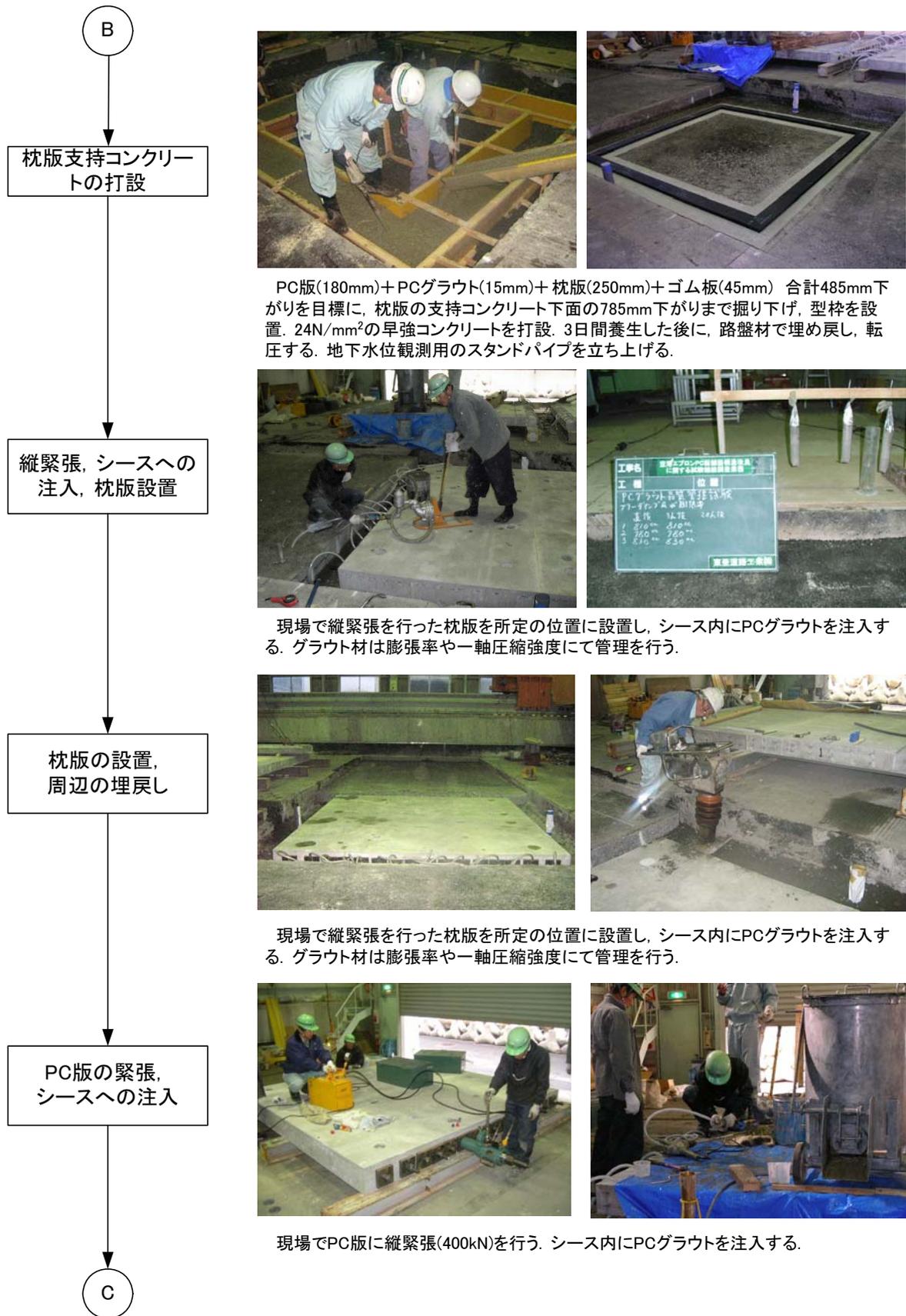


図-83 枕版支持コンクリート, 枕版の設置 作業フロー



図-84 PC版設置及び目地構造の設置 作業フロー

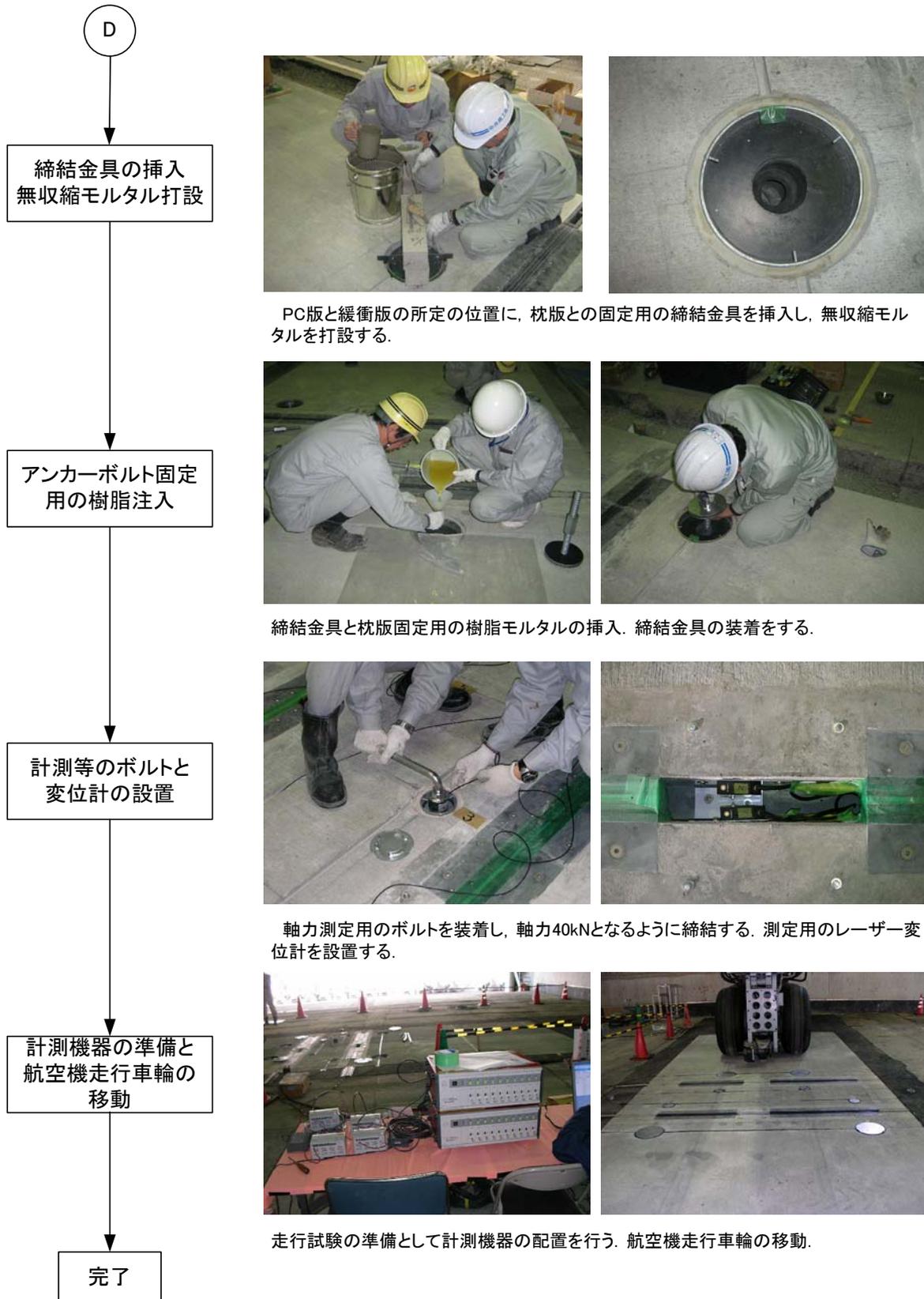


図-85 締結金具の設置及び走行載荷試験の準備 作業フロー

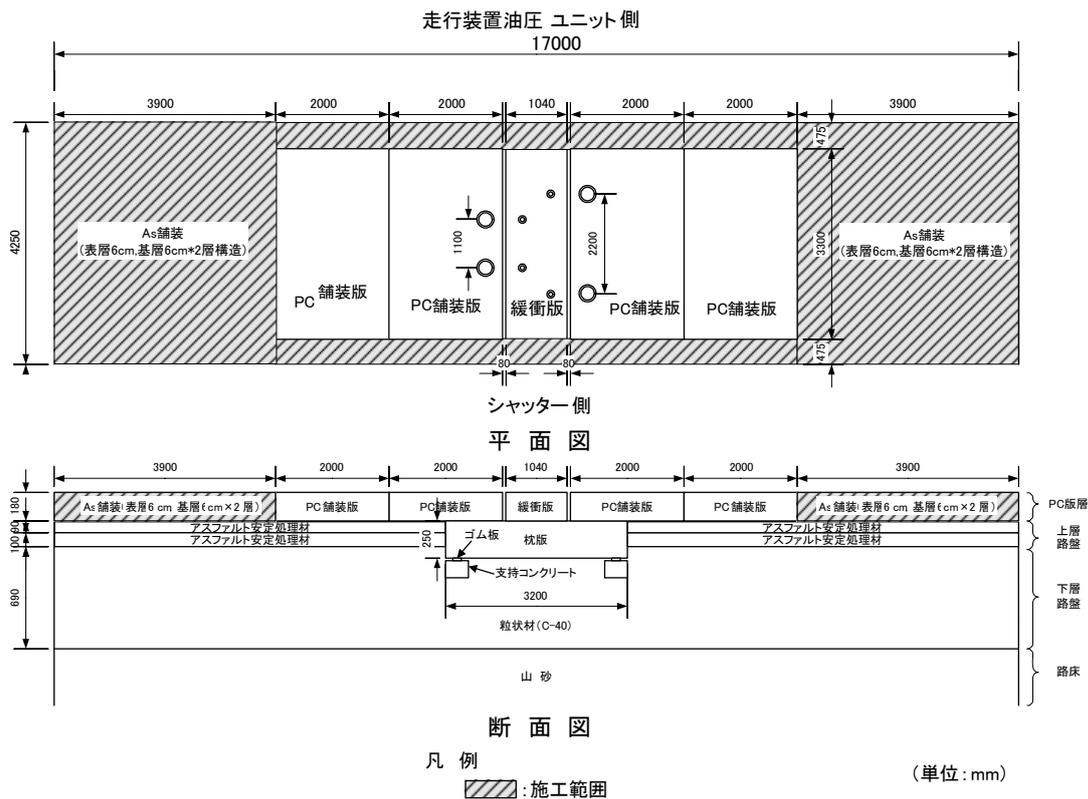


図-86 枕版, 緩衝版, PC版設置の施工図

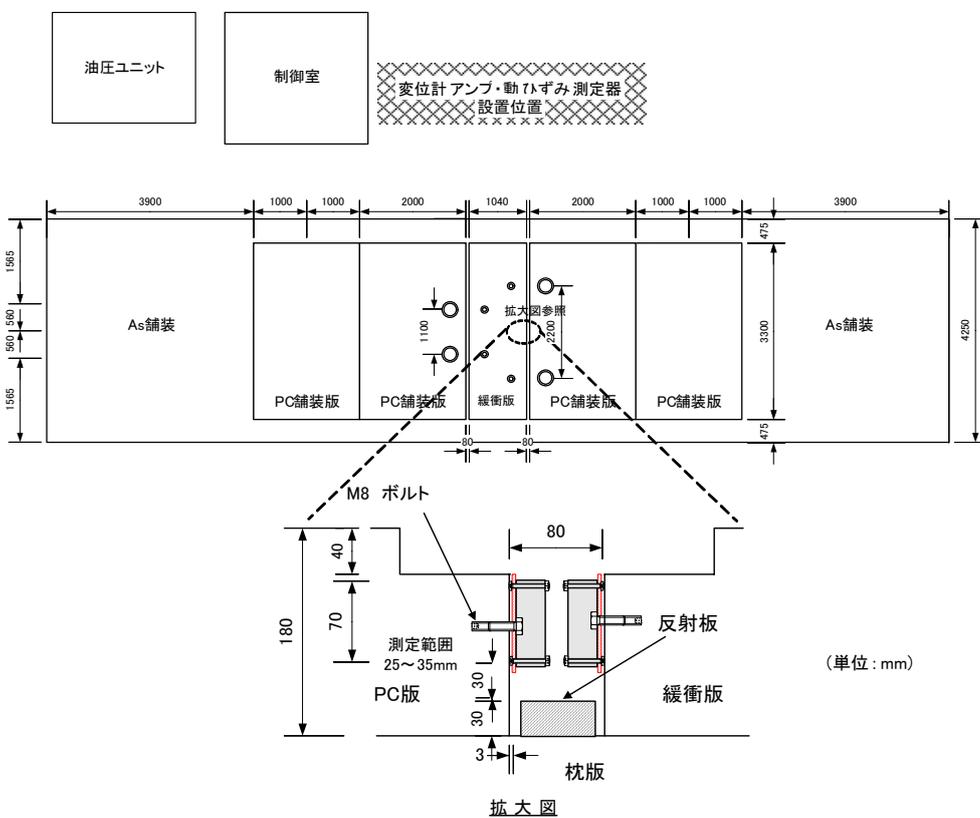


図-5 PC版等の相対変位を測定するレーザー変位計の設置位置図

表-39 使用した材料規格と計器類埋設詳細表

品名	材料の種類	規格	分類番号	参考
ゴム板	天然ゴム (NR)	JIS K 6386	A06	破断伸び 500%, せん断弾性係数 0.6N/mm^2
シート	ビニルフィルム			幅 1.8m, 厚さ 0.1mm
ひずみゲージ		FLA-3-5LT		M30 のボルトに貼付け, ひずみと荷重の較正試験を行う.

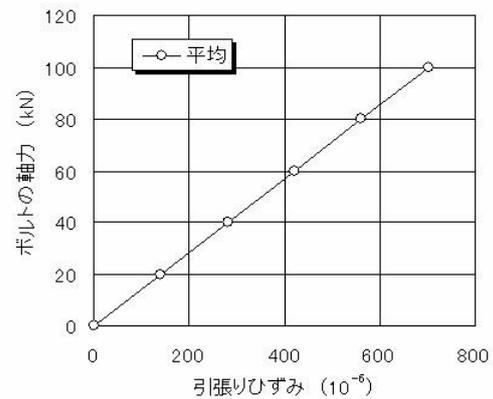


図-88 ボルトゲージの状況と荷重とひずみの較正結果

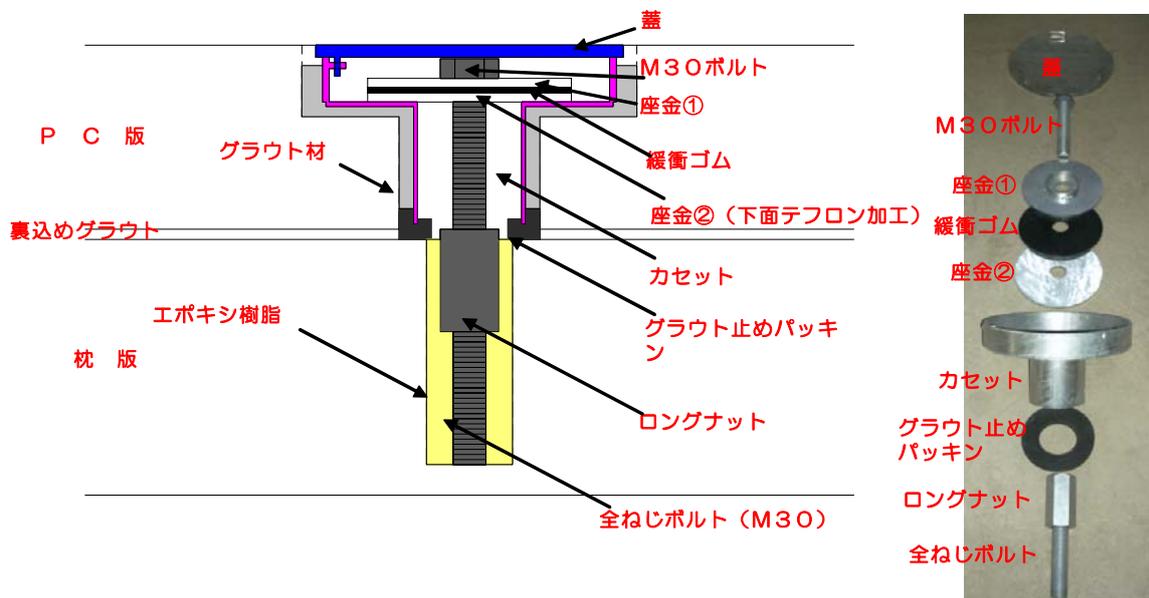


図-89 PC版と枕版の締結装置

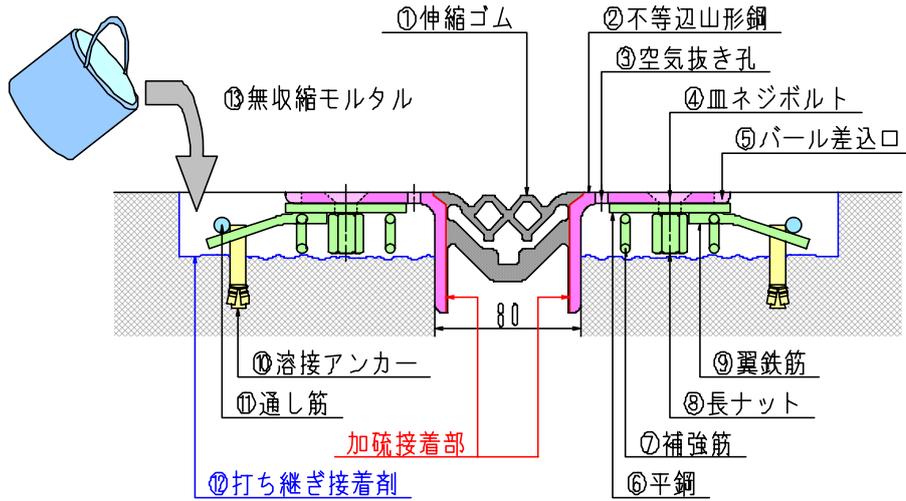


図-90 目地構造の概略図

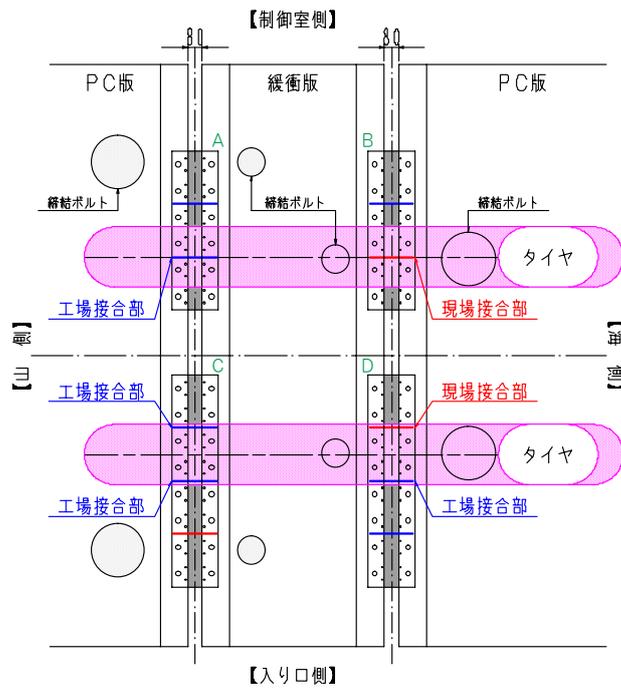


図-91 目地構造の設置位置と航空機タイヤ走行位置の関係

(2) 舗装の出来形および品質管理

a) 基準高と層厚

各舗装の舗設後に、所定の測点において、タイヤ走行位置および中央部において基準高測定を行った。測定の測定位置を図-92に数字で示し、基準高のまとめを表-40に示した。基準高から算出した各舗装厚のまとめを表-41に示す。上層路盤のアスファルト混合物は設計厚よりも厚くなったが、他の層は設計厚と同等な厚さを確保している。

表-41 舗装厚のまとめ

舗装構成	層厚 (mm)
PC版,緩衝版(グラウトを含む)	196
枕版+ゴム板	289
支持コンクリート厚	305
上層路盤(アスファルト安定処理)	196

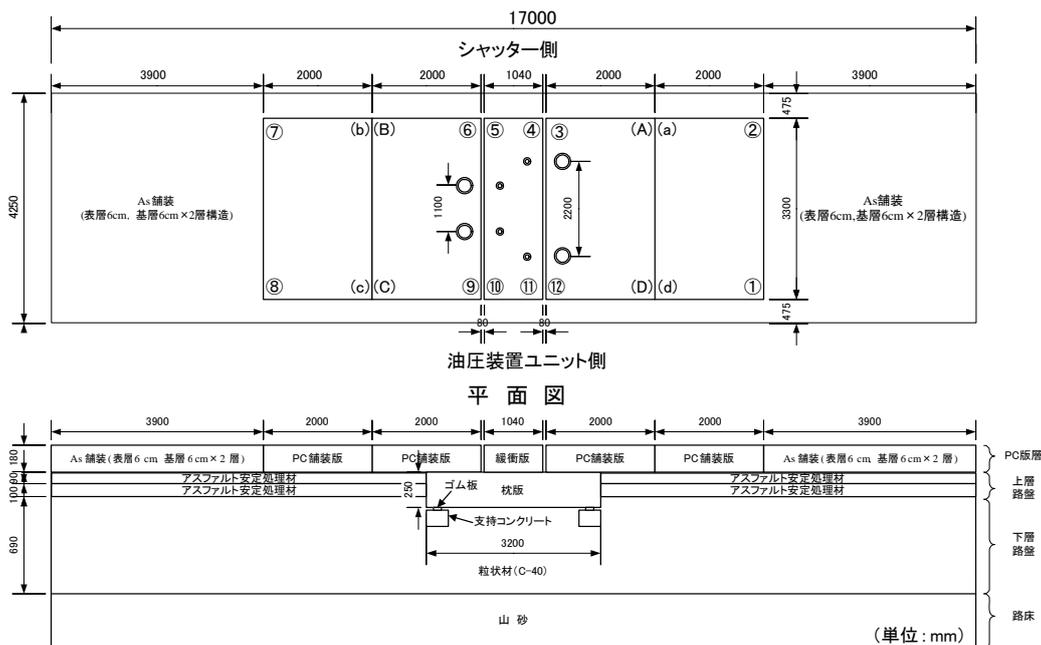


図-92 測量位置図

表-40 基準高測定結果

測点	(A)	(B)	(C)	(D)	平均
支持コン下面	793	792	790	788	791
支持コン仕上がり面	488	485	485	484	486
支持コン厚(mm)	305	307	305	304	305

測点	(A)	(B)	(C)	(D)	平均
支持コン仕上がり面	488	485	485	484	486
枕版上面	197	197	198	194	197
枕版+ゴム板厚	291	288	287	290	289

測点	①	②	⑦	⑧	(a)	(b)	(c)	(d)	平均
下層路盤	392	394	395	388	388	387	390	390	391
上層路盤	195	191	194	198	197	194	198	191	195
上層路盤厚	197	203	201	190	191	193	192	199	196

測点	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	平均
枕版/上層路盤上面	195	191	196	197	195	196	194	198	196	197	197	195	196
PC版上面	0	1	-2	-1	-1	2	4	0	-2	-2	0	-4	0
PC版+グラウト厚	195	190	198	198	196	194	190	198	198	199	197	199	196

測点	①	②	⑦	⑧	平均
上層路盤	195	191	194	198	194.5
アスファルト上面	0	1	4	0	1.3
舗装厚	195	190	190	198	193.3

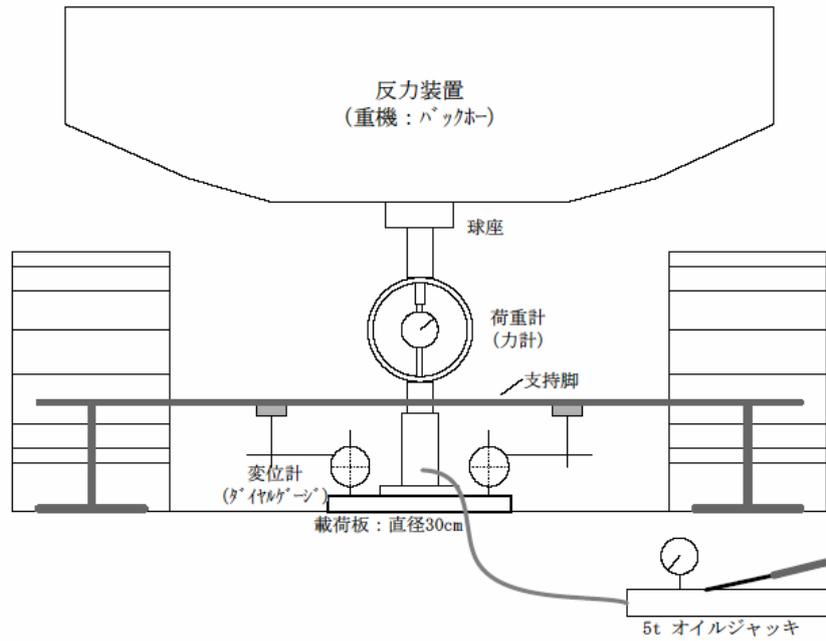


図-93 載荷計測装置概略図

表-42 載荷計測装置機器一覧表

名称項目	仕様	数量
荷重計	フルビングリング® (容量 50kN)	1 個
荷重装置	5 t f 油圧ジャッキ	1 台
載荷板	鋼製・直径30cm・厚さ2.5cm	1 個
変位計	精度1/100m m・スローク30mm	2 個
ゲージホルダー	マグネットスタンド	2 個
反力荷重	バックホー	1 台

b) 路盤の支持力係数

下層路盤上と上層路盤上にて、設計支持力係数の確保ができていないか検討を行った。ここでは路盤支持力係数を直径 300mm の載荷板を用いて平板載荷試験を実施した。試験方法は道路の平板載荷試験 JIS A 1215 : 2001 によった。

① 載荷計測装置

載荷計測装置の概略図および載荷測定機器一覧を図-93 および表-42 に示す。

② 路盤支持力測定方法

路盤支持力測定方法は、『道路の平板載荷試験 JIS A 1215』：社団法人 地盤工学会に基づいて実施した。測定方法の概略の手順は以下のとおりである。

- ・路盤を水平にならし、必要があれば薄く砂を敷く。

- ・この上に載荷板（直径 30cm）を置き、測定面とのなじみを確認する。
- ・載荷板の上にジャッキを置き、反力装置と組み合わせる。その際、反力装置の支持点は、載荷板の外側端から 1m 以上離して設置する。
- ・沈下量測定装置を載荷板および反力装置の支持点から 1m 以上離して設置し、載荷板の正しい沈下量が測れるように変位計を取り付ける。
- ・載荷板を安定させるため、あらかじめ載荷圧力 35kN/m² 相当の荷重をかけてから零に除荷し、変位計の指示値を読み取り、沈下の原点とする。
- ・載荷圧力（荷重強さ）が 35kN/m² 刻みになるように荷重を段階的に増加していき、荷重を上げるごとにその

荷重による沈下の進行がとまるのを待って荷重計と変位計の指示値を読み取る（1分間の沈下量が、その荷重強さによる段階における沈下量の1%以下であれば、沈下の進行が止まったと認める）。

③ 結果の整理

路盤支持力係数（地盤反力係数）は、載荷圧力（荷重強さ）－沈下量曲線から、沈下量1.25mmの載荷圧力を用いて下式により計算をする。

$$K_s = p/S$$

ここに、

K_s : 路盤支持力係数（地盤反力係数）（MN/m³）

p : 載荷圧力（荷重強さ）（kN/m²）

S : 沈下量（mm）

本試験は、載荷板直径30cmを用いるため、路盤支持力係数 K_{30} を換算値で除すことで設計支持力係数 K_{75} を算定した。

$$\text{粒状路盤} : K_{75} = K_{30} / 3.0$$

（下層路盤 設計支持力係数 $K_{75} = 32 \text{ MN/m}^3$ ）

安定処理路盤 : $K_{75} = K_{30} / 5.0$

（上層路盤 設計支持力係数 $K_{75} = 70 \text{ MN/m}^3$ ）

各層の路盤支持力係数の測定結果を表-43及び図-94、図-95に示す。以上の結果から、本試験舗装の K_{30} から得られた路盤以下の支持力係数は、下層路盤上で 150 MN/m^3 、上層路盤のアスファルト安定処理上で 350 MN/m^3 以上が得られており、十分な支持力を有している。設計支持力係数である K_{75} についても、換算係数を用いて除算しても規定値を満足する結果であった。

また、下層路盤（粒状路盤）の締固め度は、図-96の結果のように、各測定位置とも100%以上あることから、十分な転圧が行われたといえる。

表-43 各路盤上の路盤支持力係数

工種	測定位置	路盤支持力係数 (MN/m ³)		設計支持力係数 K ₇₅
		K ₃₀	K ₇₅	
下層路盤	右側	152.8	50.9	32 MN/m ³ 以上
	中央(枕版設置位置)	205.6	68.5	
	左側	248.8	82.9	
上層路盤	右側	365.2	73.0	70 MN/m ³ 以上
	左側	391.6	78.3	

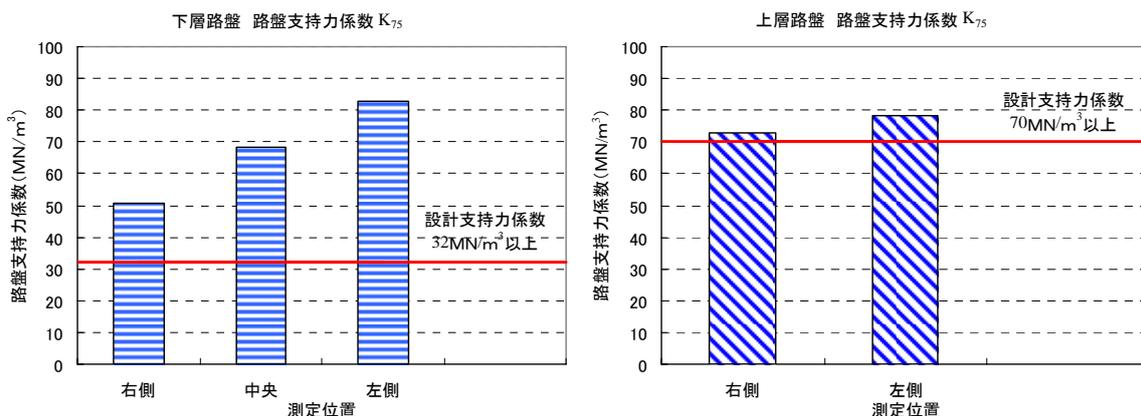


図-94 各路盤上の K_{30} から換算した路盤支持力係数 K_{75} の比較

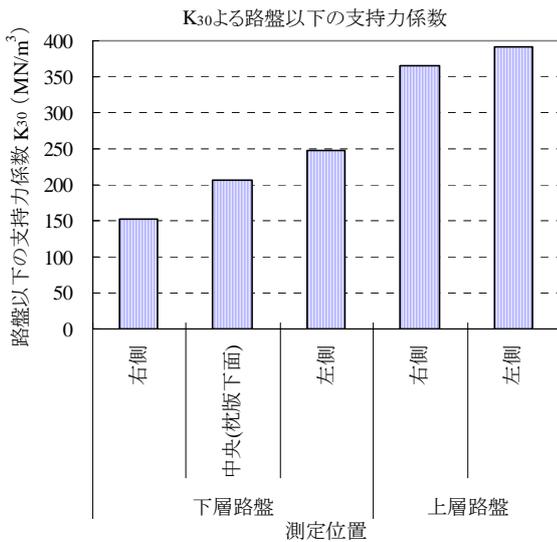


図-95 K₃₀による路盤以下の支持力係数

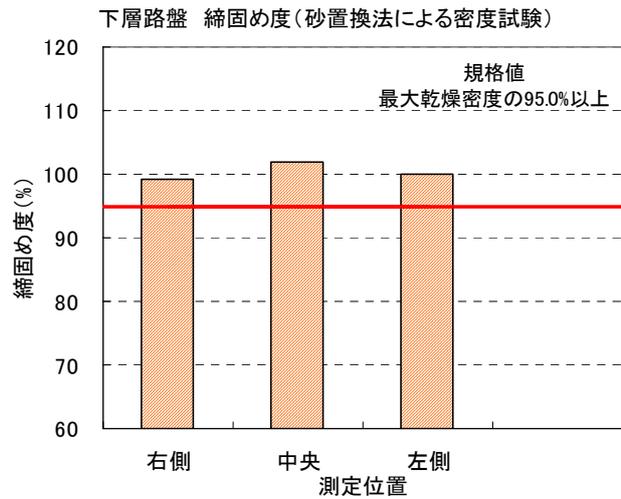


図-96 下層路盤(切込み砕石)の締固め度

(3) コンクリートの配合と日常管理試験結果

a) PC版・緩衝版・枕版の製作

PC版・緩衝版・枕版は、(株)ピーエス三菱の茨城工場にて製作を行った。今回製作したのは、緩衝版(t=18cm)1枚、PC版(t=18cm)4枚、枕版(t=25cm)2枚である。コンクリートの製造に用いた使用材料と産地を表-44に示す。また、コンクリート打設に用いた骨材の特性値を表-45に示す。ここでは、いずれの試験項目でも規格値を満足しており、問題ない。

PC版等の製作に用いたコンクリート骨材の粒度を図-97に示す。コンクリートの配合を表-46に示し、コンクリートの打設日と一軸圧縮強度を表-47に示す。高強度を得るため、水セメント比は40%を目標とし、28日圧縮強度は50N/m²以上を確保しており、安定したコンクリート版が製作された。

b) PC版・緩衝版・枕版の設置

工場から持ち込んだPC版は、航空機載荷試験実験槽にて鋼棒を用いて緊張し、シーブにグラウトを流し込んで定着を行った。

PC版にはPC鋼棒φ26mmを13本使用した。PC版の緊張力は版あたりで設計398.2kN、目標458.2kNとしたため、1本あたりの応力度は、設計で58N/mm²以上、目標値で66N/mm²である。枕版にはPC鋼棒φ32mmを16本使用した。枕版の緊張力は版あたりで設計398.2kN、目標458.2kNとしたため、1本あたりの応力度は、設計で47N/mm²以上、目標値で54N/mm²である。

緊張の固定用にシーブに流し込んだグラウトの配合

と強度試験関係に関して、表-48と表-49にまとめた。現場緊張の鋼棒と固定させるための材料のため、セメントグラウトの強度は母体のコンクリートと同等以上の強度が得られている。膨張や収縮などはほとんどない。

PC版の設置に用いた裏込注入グラウト²⁾の配合を表-50に示し、一軸圧縮強度と変形係数及び引張り強度試験の結果を表-51に示す。圧縮応力度と引張り応力度の関係を図-98に示す。

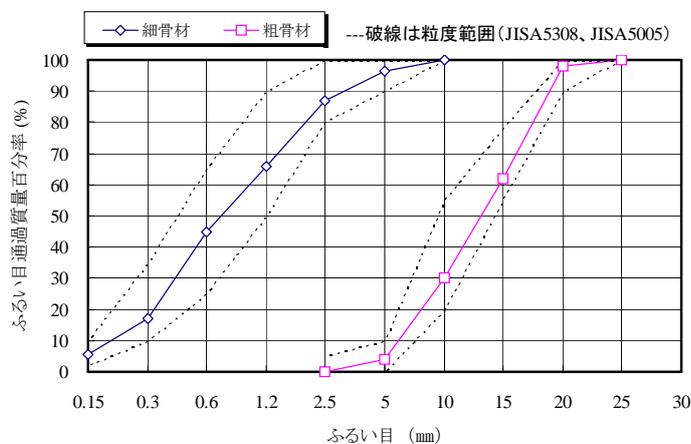
裏込注入グラウト材は、ジェットグラウト系は水材料比50-80%が一般的に使われているが、ここで使用したグラウト注入材は超早硬セメント系を使用しているため水が少なく、早期の強度が高い。

表-44 コンクリート版の製造に用いた使用材料

材料名	銘柄	製造者/産地
セメント	早強ポルトランドセメント	宇部三菱セメント(株)
粗骨材	砕石 2005	栃木県鹿沼市産
細骨材	山 砂	(有)茂木建材/行方市産
	砕 砂	栃木県鹿沼市産
水	上水道水	行方市
高性能減水剤	レオビルド 8000S	(株)エヌエムビー
AE 剤	マイクロエア 775S	(株)エヌエムビー

表-45 コンクリート用骨材の物理特性

試験項目	細骨材				粗骨材	
	山砂		砕砂		砕石2005	
	規格値	試験値	規格値	試験値	規格値	試験値
表乾密度 (kg/ℓ)	2.50以上	2.58	2.50以上	2.62	2.50以上	2.64
絶乾密度 (kg/ℓ)	2.50以上	2.52	2.50以上	2.58	2.50以上	2.62
吸水率 (%)	3.5以下	2.13	3.0以下	1.31	3.0以下	0.69
微粒分量	3.0以下	0.90	7.0以下	1.60	1.0以下	0.10
単位容積質量 (kg/ℓ)	—	—	—	—	1.50以上	1.63
実績率 (%)	—	—	—	—	55以上	—
粒形判定実績率 (%)	—	—	53以上	55.9	55以上	62.2
粘土塊量 (%)	1.00以下	0.47	1.00以下	0.42	0.25以下	0.00
砂の有機不純物	淡いこと	淡い	淡いこと	淡い	—	—
砂の塩分含有量 (%)	0.030以下	0.000	0.030以下	0.000	—	—
比重1.95に浮くもの (%)	0.5以下	0.30	0.5以下	0.00	0.5以下	0.00
軟石量 (%)	—	—	—	—	5.0以下	1.5
安定性 (%)	10以下	2.6	10以下	1.2	12以下	0.4
すりへり減量 (%)	—	—	—	—	40以下	11.1
アルカリ骨材反応	無 害	無 害	無 害	無 害	無 害	無 害
使用比率 (%)		50		50		



ふるい目 (mm)	細骨材		粗骨材
	山砂	砕砂	砕石2005
30			100
25			100
20			98
15			62
10	100	100	30
5	93	100	4
2.5	86	88	0
1.2	75	57	
0.6	55	35	
0.3	16	18	
0.15	4	7	
FM	2.71	2.95	6.67

図-97 コンクリート用骨材の粒度分布

表-46 コンクリートの配合

	粗骨材 の最大 寸法 (mm)	スラブ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメン ト比 W/C (%)	細骨材 率 s/a (%)	単位 水量 w (kg)	重 量 (kg/m ³)				化学混和剤の 使用量 (kg/m ³)		
							セメント C	細骨材 S		粗骨材 G	混和材	8000S	775S
								山砂	砕砂				
1m ³	20	12.0±2.5	4.5±1.5	39.6	40.0	157	397	347	352	1,064		2,499	1,785

表-47 各コンクリート版の打設日と一軸圧縮強度試験結果

製品名	作製年月日	コンクリート圧縮強度 (N/mm ²)			スラブ (cm)	空気量 (%)	塩化物量(平均) (kg/m ³)	気温 (°C)	コンクリート温度 (°C)
		導入時	材齢7日	材齢28日					
緩衝版	H18.11.24	33.0	46.3	58.9	13.0	3.5	0.018	12.0	18.7
枕版①	H18.11.28	36.3	50.3	54.6	13.0	4.1	0.018	12.0	20.0
枕版②	H18.11.30	36.7	46.5	54.5	14.0	4.3	0.011	12.0	18.9
PC版①	H18.12.1	44.5 [*]	50.4	57.9	11.0	4.4	0.008	9.0	17.5
PC版②	H18.12.4	30.0	48.6	56.5	13.0	4.1	0.009	7.0	16.8
PC版③	H18.12.5	29.8	48.1	53.2	13.0	3.3	0.015	8.0	16.5
PC版④	H18.12.6	29.9	48.0	56.3	14.0	3.1	0.013	11.0	16.4

※は材齢3日, それ以外は材齢1日

表-48 シースに注入したセメントグラウトの配合

項目	セメント (kg)	水 (kg)	混和剤 (kg)	水セメント比 (W/C) (%)
使用材料	早強ポルトランドセメント	飲料水	GF-1720 (H)	—
1m ³ 当り	1305.5	561.37	13.1	43
1バッチ当り	75	32.25	0.75	43
計 量	75	32.25	0.75	43

表-49 セメントグラウトの流動性, 一軸圧縮強度試験結果

施工箇所	施工年月日	品質管理項目	試験測定値	規格値	試験(測定)方法
枕版・PC版	H18.12.13	流動性試験 (秒)	18.3	JPロート 14~23 秒	(社)土木学会規準 「PCグラウト試験方法」
		ブリーディング率試験 (%)	0.0	20時間後 0%	
		膨張率試験 (%)	0.0	20時間後 0.5%以下	
		水セメント比測定 (%)	43.0	45%以下	
		圧縮強度試験 (N/mm ²)	89.0	28日強度 30 N/mm ² 以上	
		塩化物含有量試験 (kg/m ³)	0.1687	0.3 kg/m ³ 以下	
		グラウト温度 (°C)	22.0	5~35°C	

表-50 裏込注入グラウトの配合

項目	セメント (kg)	水 (kg)	混和剤 (kg)	水材料比 (W/C) (%)
使用材料	超早硬セメント系	飲料水	高性能減水剤 (マイティ150, 花王)	—
1m ³ 当り	1075	622	9	58.7
1バッチ当り	75	43.5	0.51	58.7
計 量	75	43.5	0.51	58.7

表-51 一軸圧縮強度と変形係数及び引張り強度試験の結果

施工箇所	施工年月日	品質管理項目	試験測定値	規格値	試験(測定)方法
PC版・ 緩衝版	H18.12.14	圧縮強度試験(2h後) (N/mm ²)	4.24	図-15のとおり	「土の一軸圧縮試験方法」JIS A 1216 「コンクリートの曲げ強度試験方法」JIS A 1106
		変形係数(2h後) (N/mm ²)	1046		
		圧縮強度試験(7日) (N/mm ²)	7.30	1.96以上	
		変形係数(7日後) (N/mm ²)	1186	—	
		引張強度試験(7日) (N/mm ²)	3.08	図-15のとおり	

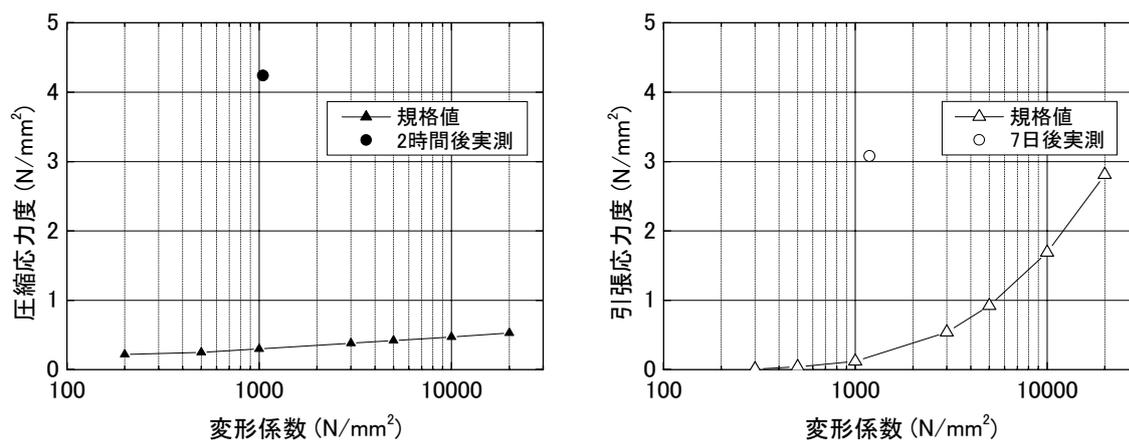


図-98 裏込グラウトの圧縮応力度，引張応力度，変形係数

4.2 PC 版上の走行載荷試験

(1) 走行載荷試験方法

設置した PC 版に関して、航空機荷重載荷装置を用い、走行載荷試験を実施した。

a) 走行載荷試験条件

走行載荷試験の前に、PC 版および枕版の締結ボルトの緊張力を管理しながら締結作業を行った。PC 版および緩衝版と枕版との締結状況を写真-23 に示す。



写真-23 締結ボルトの緊張作業状況

締結作業が完了した後、図-99 に示すように PC 舗装版上において、航空機荷重載荷装置を走行させた。なお、走行回数、PC 版ボルト締付の有無、地下水（載荷槽水張り）の有無については、表-52 の条件とした。

条件 1 と条件 2 については、PC 版－枕版および緩衝版－枕版の締結ボルトによる一体化構造の妥当性について検討することを目的とした。なお、条件 2 で走行回数を多くすると、PC 版と枕版の間のグラウト材が破損し、条件 3 および条件 4 の実験の実施が困難になることが懸念されたため、比較検討に必要な測定を行うための最小限の走行回数にとどめている。また、条件 3 では、地下水位が高い場合における締結ボルトによる一体化構造の効果について確認することを目的とした。さらに、条件 4 は、実際に東京国際空港西旅客ターミナル地区エプロンにおいて水の噴出現象が確認された環境に最も近いと考えられる条件であり、本実験手法の妥当性の検証および設置した目地構造による水の噴き上げ防止効果の確認を目的としたものである。「地下水あり」とした条件 3 および条件 4 の場合は、地下水位を図-100 に示すように PC 版と枕版の界面に設定した。試験手順は、まず走行車輪を図-99 の左端停止位置まで移動させ、走行車輪を舗装表面に接地させた後、プレッシャーゲージによりタイヤ

圧が 1.38MPa になっているか確認してから走行を開始した。走行載荷条件としては、走行速度 5km/h、載荷荷重は 910kN とした。なお、走行方法は図-99 の左端から右端へ走行し、その後折り返して右端から左端へ走行する。走行回数としては、この 1 往復をもって 2 回としている。

b) 変位測定方法

PC 版ならびに緩衝版の目地部に取り付けられたレーザー変位計を用いて、PC 版－枕版間および緩衝版－枕版間の動的相対変位を測定する。測定時期としては、表-53 のとおりとした。条件 4 の場合は、ボルトの締結が無く、地下水位が高いことから、目地部からの水の噴き上げが想定されたため、レーザー変位計に防水対策をして測定を行った。レーザー変位計の設置状況を写真-24 に示す。センサーの測定位置と番号は、図-99 に示した D1 から D4 の 4 個である。

c) ひずみ計測

前述の図-88 のように PC 版のボルト締付部に貼付けたひずみゲージにて、ボルトのひずみを測定した。測定時期は表-53 のとおりとし、ひずみ計測と変位測定を同時に行った。ひずみゲージの測定の位置と番号は、図-99 に示した BT1 から BT8 の 8 本である。データ整理では、ボルトの軸力は左右対称と考え、BT1 と BT2、BT3 と BT4、BT5 と BT6、BT7 と BT8 の平均値を使用した。

d) 測定データ例

走行載荷試験時の各データの測定例を図-101 に示す。これは、条件 4（地下水位あり、ボルト締結なし）における測定結果である。図-99 における左端の車輪停止位置において脚荷重を初期荷重の 60kN から設定荷重の 910kN に上昇させ、その後走行開始してからの版の相対変位、脚荷重、走行速度についてまとめたものである。

図-101 (a) をみると、航空機の脚荷重は、停止位置において油圧により設定荷重に達するまでに、24 秒を要していることがわかる。また、図-101 (b) を見ると、停止位置から走行を始めた直後から徐々に速度が上昇し、今回試験の対象としている PC 版と緩衝版の目地部付近では、5km/h 程度で走行速度は安定している。図-101 (c) は、走行時の PC 版－枕版間(D1, D4)および緩衝版－枕版間(D2, D3)の相対変位である。この条件では、締結ボルトによる一体化がなされていないことから、タイヤが通過した前後で、PC 版等と枕版の相対変位が大きく変動していることがわかる。

これらのデータは、制御板の BNC 端子からアナログデータを動的デジタルレコーダに取り込んでまとめたものである。荷重は 1200kN が 10V となっており、速度は 6km/h の際に 10V であった。

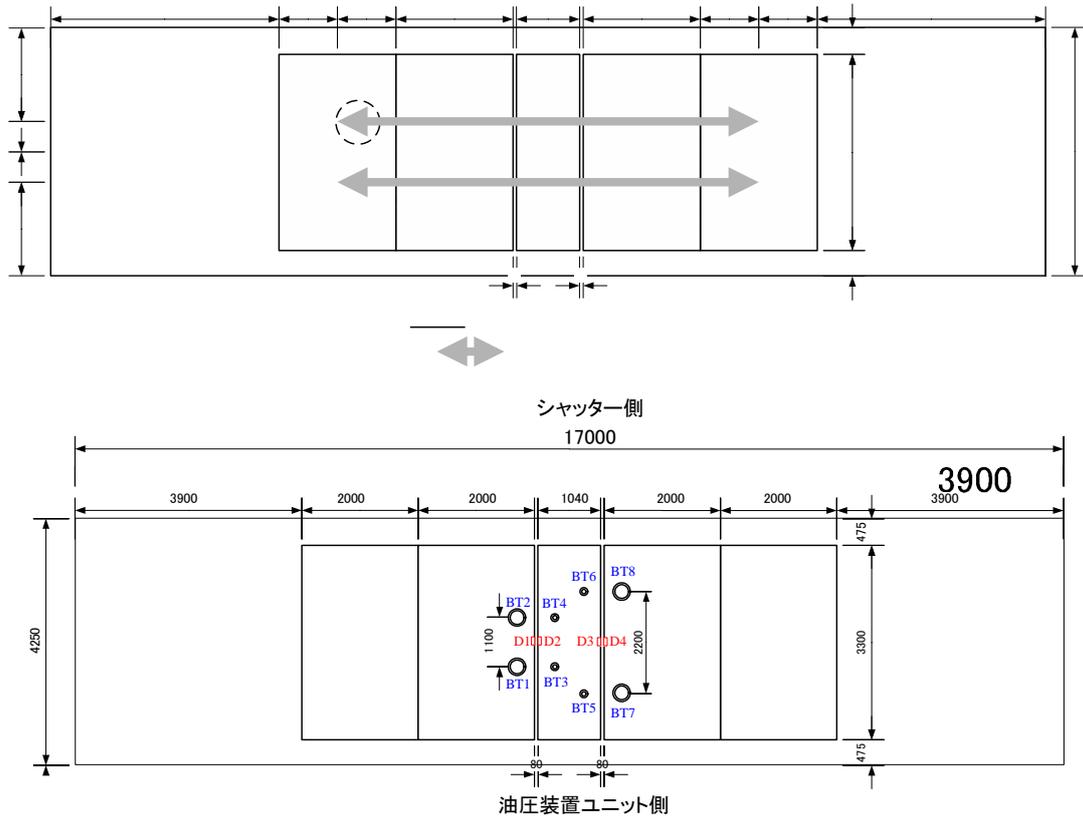


図-99 走行載荷試験の走行位置図とセンサー設置位置

表-52 走行載荷条件

条件	PC版ボルト締付	載荷槽水張りの有無	走行回数
1	締付	なし	3,000
2	締付なし	なし	50
3	締付	あり	1,000
4	締付なし	あり	1,000

As舗装

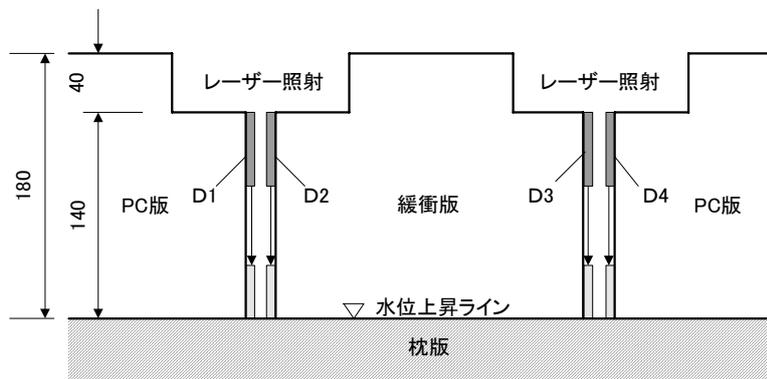


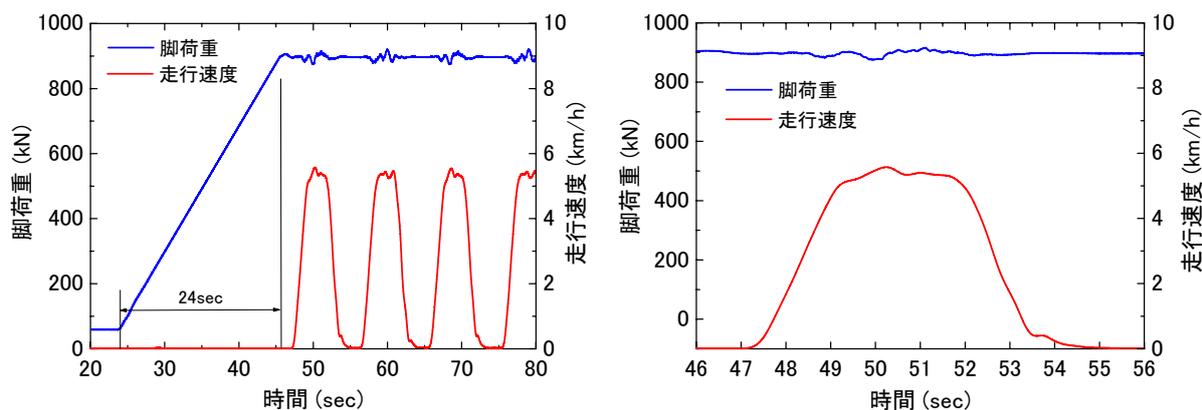
図-100 条件3, 条件4における地下水位設定

表-53 相対変位と締結ボルトのひずみ計測時期

条件	計測時期
ケース 1	0-50, 450-500, 950-1000, 1950-2000, 2950-3000
ケース 2	0-50 (ボルトを締結していないため, 変位計測のみ)
ケース 3	0-50, 450-500, 950-1000
ケース 4	0-50, 50-100, 150-200, 350-400, 550-600, 750-800, 950-1000 (ボルトを締結していないため, 変位計測のみ)

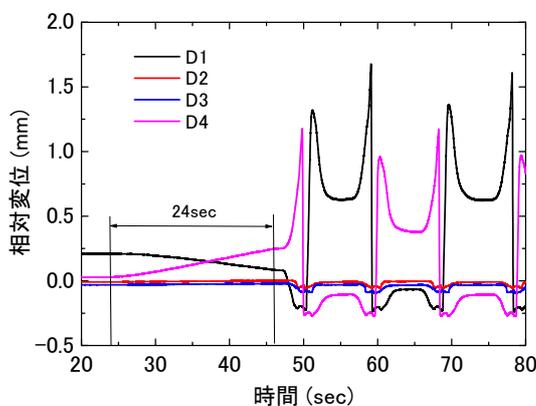


写真-24 レーザー変位計の設置状況



(a) 脚荷重と走行速度 (走行 1~4 回目)

(b) 脚荷重と走行速度 (走行 1 回目)



(c) 走行時の相対変位 (走行 1~4 回目)

図-101 脚荷重による走行載荷試験の状況

(2) 条件1と条件2の試験結果

a) 走行回数増加に伴う変動

PC版-枕版間および緩衝版-枕版間の累積相対変位(版が離れる場合が正)と走行回数の関係を図-102に、ボルトの軸力と走行回数の関係を図-103に示す。これらの数値は、一定の走行載荷試験が終了した後、脚荷重による載荷が無い場合に測定されたものである。PC版と枕版との累積相対変位は走行回数の増加に伴い増加(PC版が枕版との密着が増す)している。これは、条件1の走行試験が舗装上での最初の載荷であったことから、路盤やグラウトの圧縮によって版が沈下したことが原因と考えられる。これに対し、枕版に支持されている緩衝版は、累積の変形がほとんどないことがわかる。

ボルトの締結力を示す軸力は、載荷前に36-40kNの締結力であったが、載荷直後にはPC版-枕版間の軸力が減少している。これは前述の沈下の影響により、PC版-枕版間の密着が増したことから、軸力が減少したものと推測される。

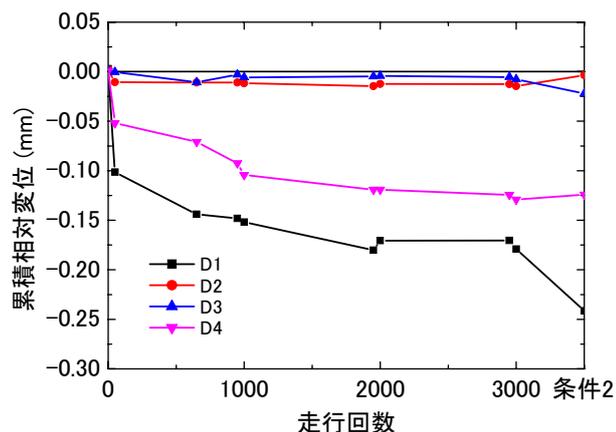


図-102 累積相対変位と走行回数の関係(条件1,条件2)

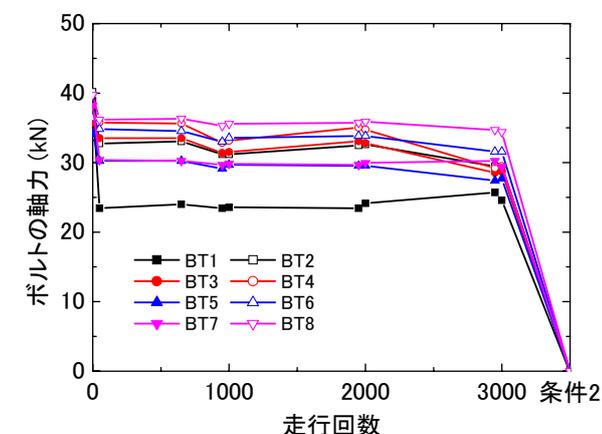


図-103 ボルトの軸力と走行回数の関係(条件1,条件2)

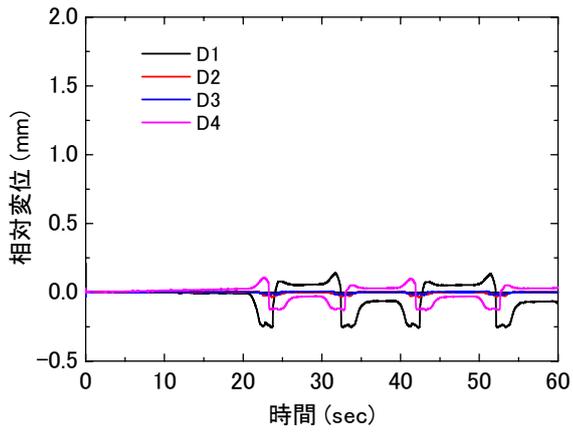
b) タイヤ走行前後の動的変動

条件1におけるタイヤ走行前後のPC版-枕版間および緩衝版-枕版間の相対変位(PC版および緩衝版が枕版から離れる方向が正)を図-105に示す。タイヤは図-99の左端から走行を開始するため、PC版側に設置されている変位計D1における変位は最初に負(PC版が枕版に押し付けられる方向)となり、タイヤがPC版から緩衝版へ移動する際に正(PC版と枕版が離れる方向)となる。この理由としては、PC版上にある脚荷重が緩衝版へ移動した際、PC版の変形は回復するが、枕版は緩衝版上からの荷重を受け続けていることから下方へ変位し、その結果PC版と枕版とが離れる方向への相対変位が発生していると考えられる。これとは反対側のPC版に設置されている変位計D4における変位は、D1とは正負反対の挙動を示す。一方、緩衝版に設置されている変位計D2およびD3はタイヤの通過前後での変位は非常に小さい。走行回数との関係では、これらの変位が走行回数の増加に伴い大きくはなっていないことから、締結ボルトの効果は3000回走行後においても維持されていると考えられる。

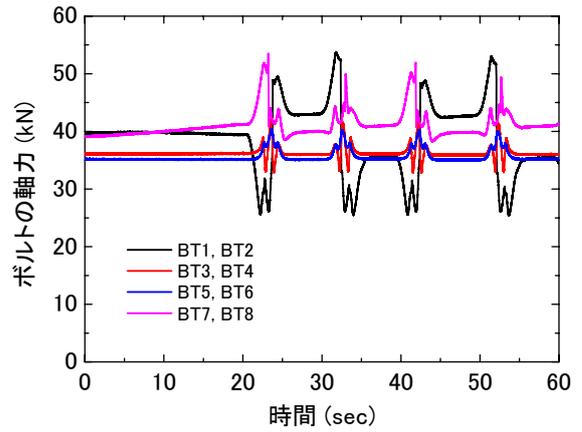
条件1におけるタイヤ走行前後のボルトの軸力を図-106に示す。ボルトの軸力は前述の相対変位と関係しており、相対変位が負の場合にボルトの軸力は減少し、相対変位が正の場合にボルトの軸力は増加する。ボルトの軸力については、走行開始直後には前項の理由により初期値(およそ40kN)から減少するものの、その後についてはほぼ一定の値となっている。

図-107に、条件2における相対変位を示す。条件2ではボルト締結がされていないため、条件1と比較して相対変位が大きくなっている。特に、タイヤがPC版から緩衝版に移動する際には、PC版と枕版が離れる方向の変位が著しく大きくなっており、最大で1.5mm程度の変位が生じている。

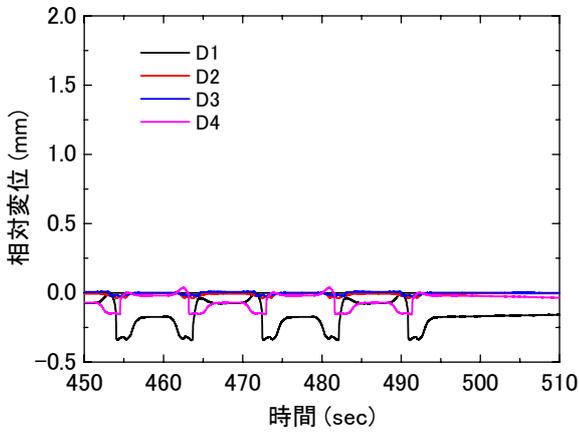
以上の結果から、ボルト締結の有無による差は明らかであり、ボルトを締結することにより、PC版と枕版との相対変位を減少させることが可能であるといえる。



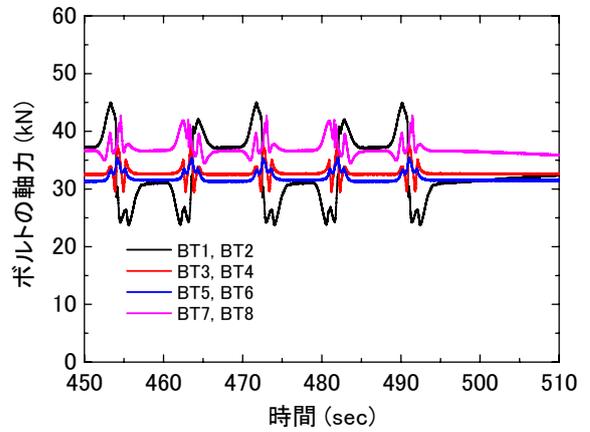
(a) 走行開始直後



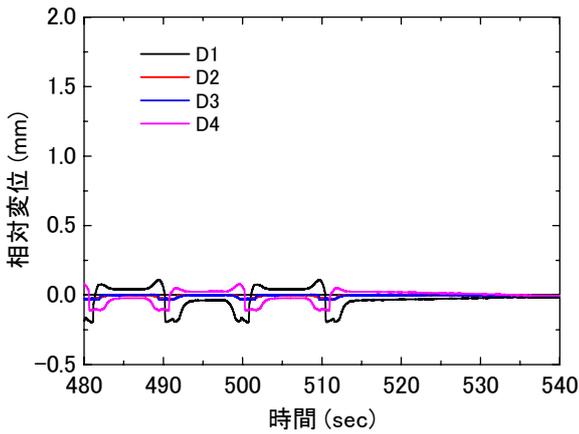
(a) 走行開始直後



(b) 走行 1000 回頃

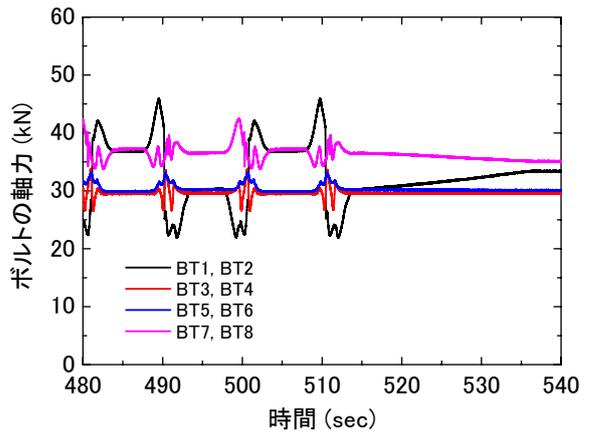


(b) 走行 1000 回頃



(c) 走行 3000 回頃

図-105 相対変位の時刻歴変化 (条件 1)



(c) 走行 3000 回頃

図-106 ボルトの軸力の時刻歴変化 (条件 1)

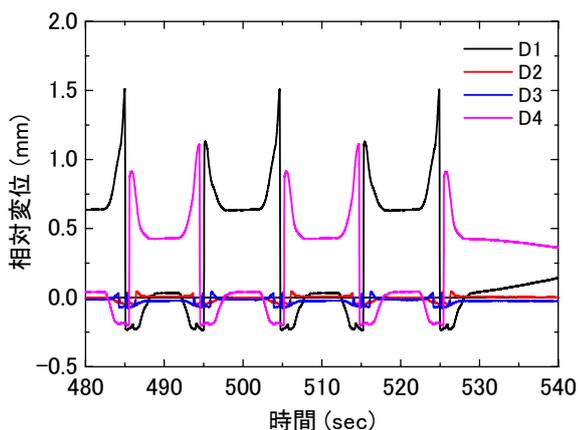


図-107 相対変位の時刻歴変化 (条件2)

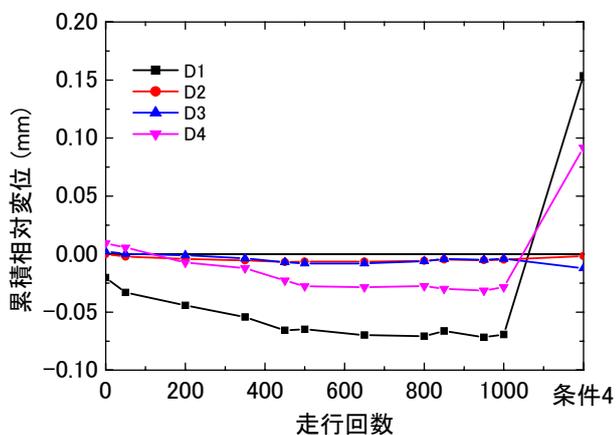


図-108 累積相対変位と走行回数の関係(条件3,条件4)

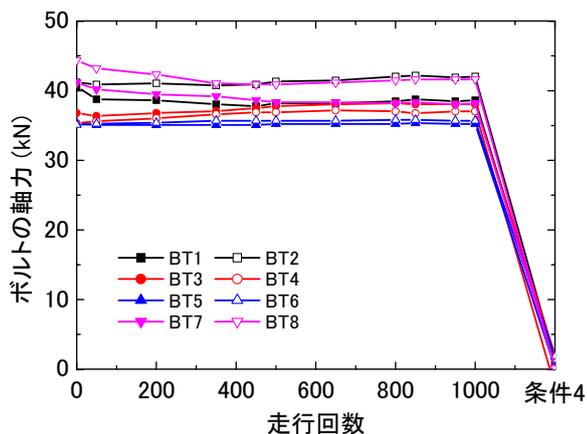


図-109 ボルトの軸力と走行回数の関係(条件3,条件4)

(3) 条件3と条件4の試験結果

a) 走行回数増加に伴う変動

条件2の試験終了後、再度ボルトを締結し、地下水位をPC版と枕版の界面まで上昇させた後に、条件3および条件4の走行荷重試験を実施した。

び条件4の走行荷重試験を実施した。

PC版-枕版間および緩衝版-枕版間の累積相対変位(版が離れる場合が正)と走行回数との関係を図-108に、ボルトの軸力と走行回数との関係を図-109に示す。これらの数値は、一定の走行荷重試験が終了した後、脚荷重による荷重が無い場合に測定されたものである。PC版と枕版との累積相対変位は走行回数の増加に伴い若干増加(PC版が枕版との密着が増す)しているもののその値は非常に小さい。また、枕版に支持されている緩衝版については、条件1および条件2の場合と同様に累積の変形がほとんどないことがわかる。ボルトの締結力を示す軸力は、ほぼ一定の値であり、水浸条件下においても、ボルトが緩んではないことを示している。

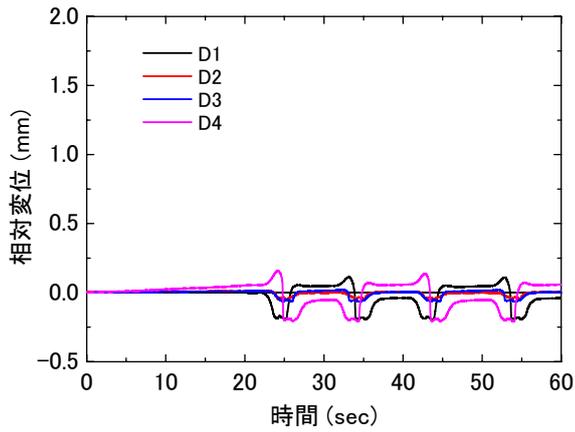
以上のことから、ボルト締結による効果は、水浸条件下においても有効であるといえる。

b) タイヤ走行前後の動的変動

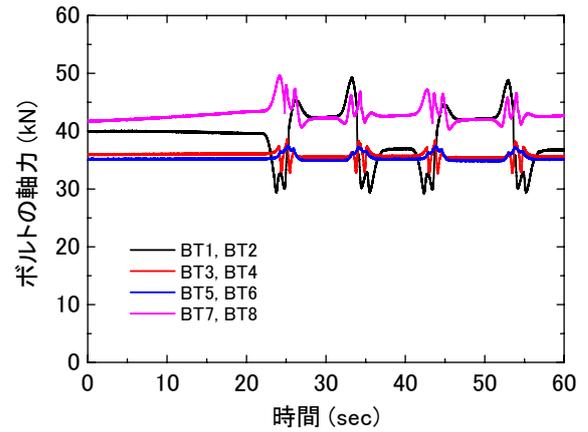
条件3におけるタイヤ走行前後のPC版-枕版間および緩衝版-枕版間の相対変位(PC版および緩衝版が枕版から離れる方向が正)を図-110に示す。条件1の場合と同様に、タイヤは図-99の左端から走行を開始し、目地部を通過するたびに、PC版側に設置されている変位計D1における変位は最初に負(PC版が枕版に押し付けられる方向)となり、タイヤがPC版から緩衝版へ移動する際に正(PC版と枕版が離れる方向)となる。また、これとは反対側のPC版に設置されている変位計D4における変位は、D1とは正負反対の挙動を示す。一方、緩衝版に設置されている変位計D2およびD3はタイヤの通過前後での変位は非常に小さい。変位は条件1の場合と大差なく、地下水位が高いことによる影響は見受けられない。

条件3におけるタイヤ走行前後のボルトの軸力を図-111に示す。ボルトの軸力については、ほぼ一定の値となっており、地下水位が高いことによる影響は見受けられない。

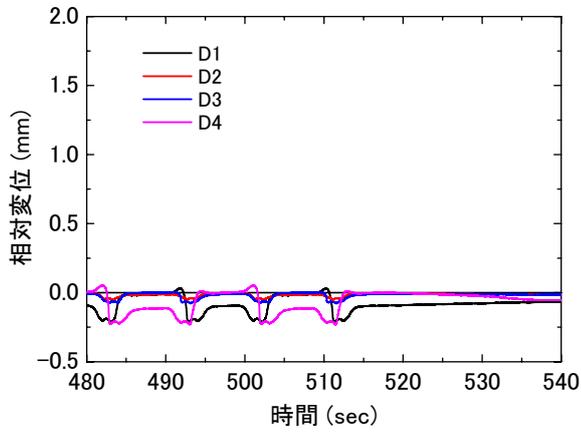
図-112に、条件4における相対変位を示す。条件4ではボルト締結がされていないため、条件3と比較して相対変位が大きくなっており、同じくボルト締結を行わなかった条件2と比べても、相対変位は大きくなっている。以上の結果から、ボルト締結の有無による差は明らかであり、ボルト締結を行っている場合には、地下水位が高いことによる影響がほとんど無いものの、ボルト締結を行っていない場合には、地下水位が無い場合と比較して相対変位が大きくなっていることがわかる。



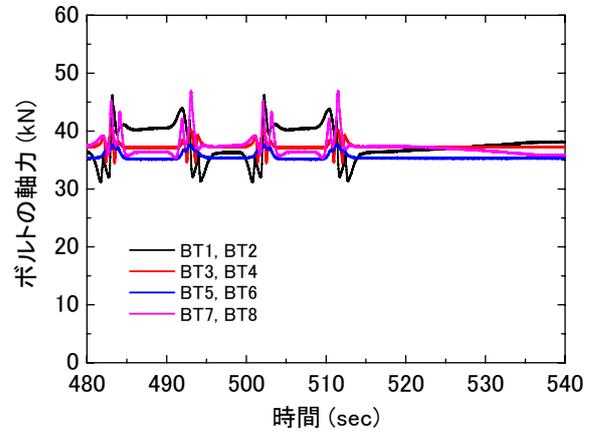
(a) 走行開始直後



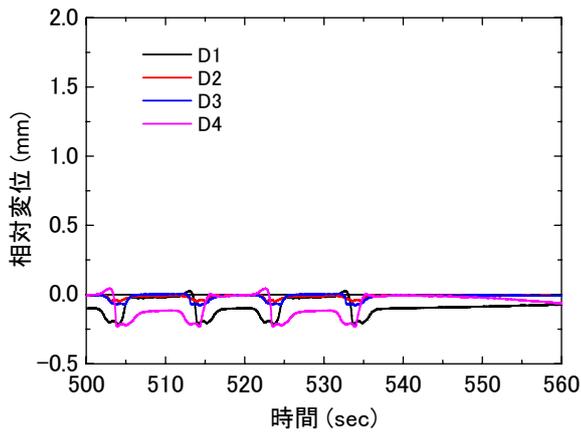
(a) 走行開始直後



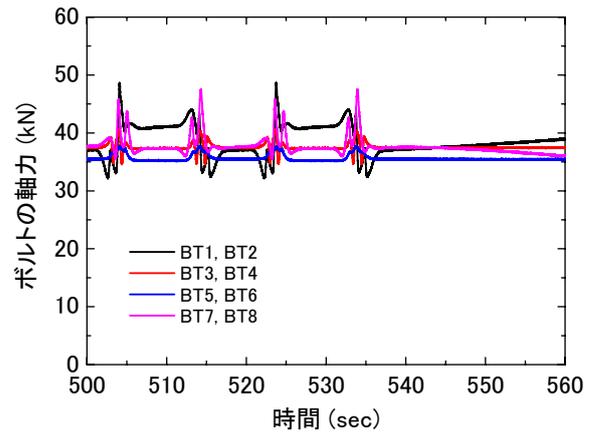
(b) 走行 500 回頃



(b) 走行 500 回頃



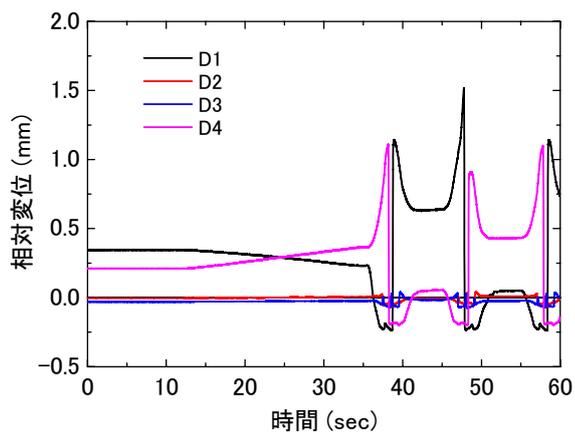
(c) 走行 1000 回頃



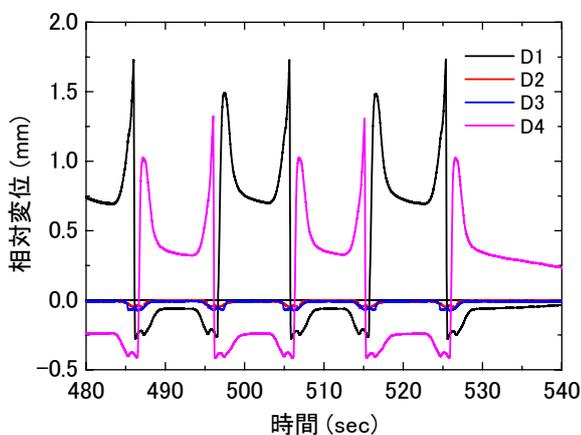
(c) 走行 1000 回頃

図-110 相対変位の時刻歴変化 (条件 3)

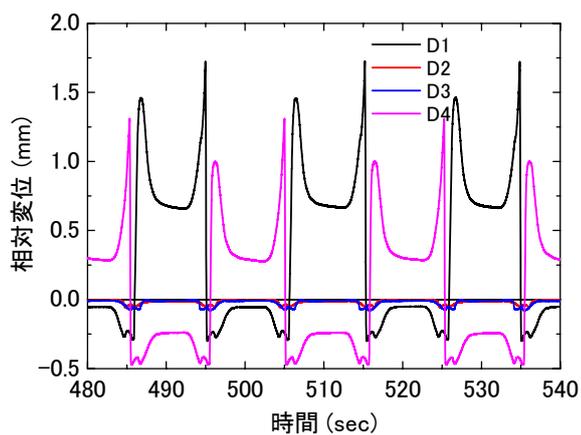
図-111 ボルトの軸力の時刻歴変化 (条件 3)



(a) 走行開始直後



(b) 走行 500 回頃



(c) 走行 1000 回頃

図-112 相対変位の時刻歴変化 (条件 4)

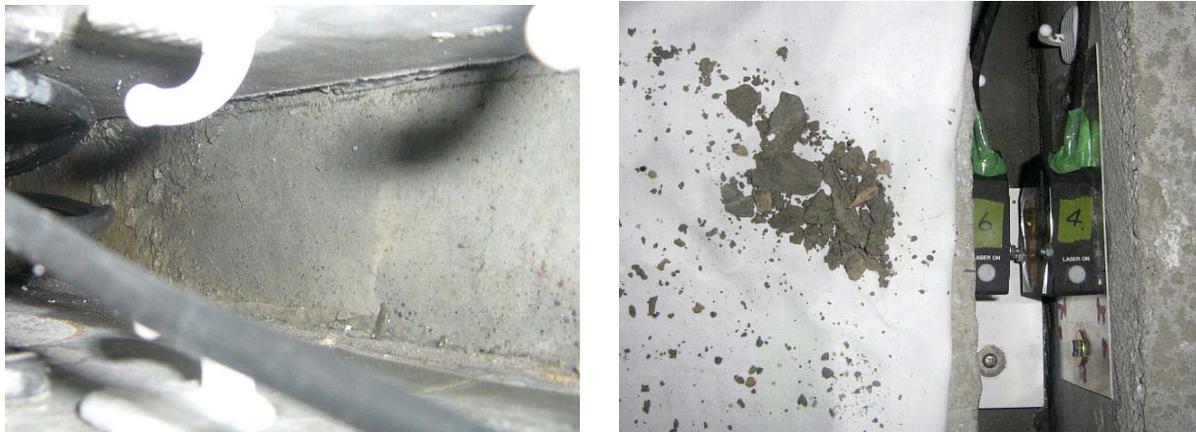
c) ポンピング現象の確認

条件 4 (地下水あり, ボルト締結なし) の 50 回走行後の水の噴出状況を写真-25 に示す. 前述のとおり, 条件 4 ではボルト締結を行っていないことから, PC 版と枕版の相対変位が大きくなり, PC 版と緩衝版の目地部に設置した二つの目地構造の間から水が噴出するのが確認された. 写真-25 に示すように, セメントグラウトの破片, 水の噴出による噴泥物がレーザー変位計の反射板に溜まっているのがわかる. しかしながら, 目地構造が設置されている部位からの水の噴出は確認されなかったことから, この目地構造により, 水の噴出を防止することが可能であると考えられる. また, 目地構造のプレートとゴムについて若干の磨耗が確認されたが, 構造上問題となるような磨耗ではなかった.

走行試験後の目地部の状況とセメントグラウトの破損状況を写真-26 に示す. セメントグラウトの破片の散乱状況と清掃後の状況から, ボルト締結なしの場合にはタイヤが通過するたびに PC 版と枕版の相対変位によって, セメントグラウトが PC 版端部から破損したと推測される.



(a) 地下水有, ボルト締結無の 50 回走行後の水の噴出 (b) 目地構造のプレートとゴムの摩耗
写真-25 条件4の50回走行載荷試験後のPC版舗装の路面状況



(a) 目地部の清掃後(PC版と枕版の間に隙間有り) (b) 清掃後の噴出物の状況
写真-26 走行試験後の目地部の状況とセメントグラウトの破損状況

4.3 考察

(1) タイヤ走行時の相対変位の変動

条件1～条件4においてタイヤ走行時に連続的に測定したPC版－枕版間の相対変位(D1, D4)および緩衝版－枕版間の相対変位(D2, D3)の最小値と最大値を抽出し, その差を相対変位の振幅量として図-113に整理した。

ボルトを締結した条件1, 条件3と, ボルトを締結しなかった条件2, 条件4を比較した場合, ボルトを締結した場合には, PC版－枕版間の相対変位は約0.3mm程度以下である傾向に対して, 条件2の相対変位は1.8mm, 条件4では2.3mm程度であった。今回の実験により, ボルトを締結することにより, PC版－枕版間の相対変位を低減でき, ポンピングが生じにくい状況とすることが確認できた。

また, ボルト間隔が1.1mの場合の相対変位(D1)と2.2m

の場合の相対変位(D2)を比較すると, 条件1の3000回走行時において, ボルト間隔が1.1mの場合で0.309mm, ボルト間隔が2.2mの場合で0.192mm, 条件3の1000回走行時において, ボルト間隔が1.1mの場合で0.239mm, ボルト間隔が2.2mの場合で0.276mmであった。このことから, 締結力として30～40kNが導入されている場合には, ボルト間隔の違いによる相対変位の差に大きな変化は認められなかった。

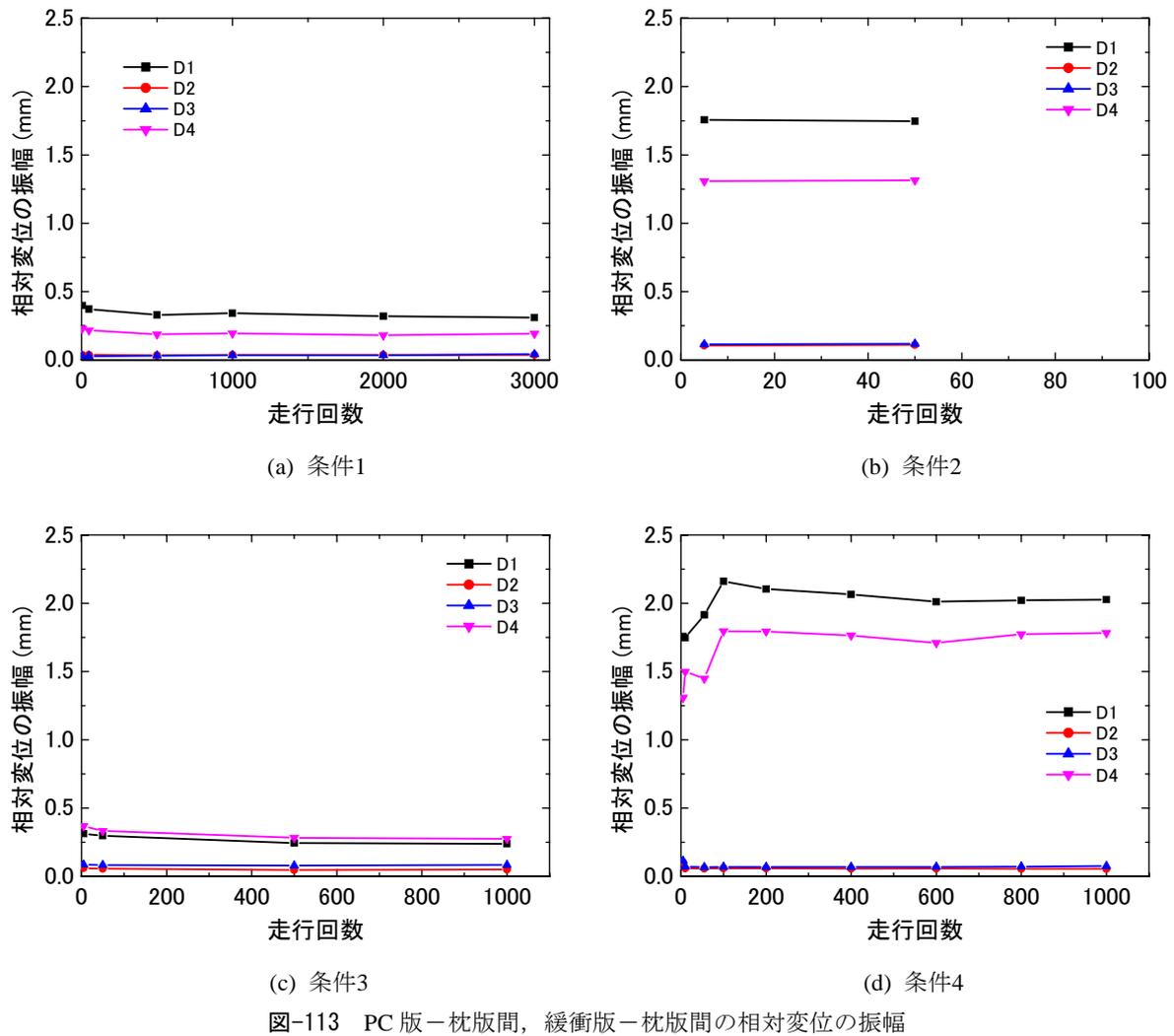


図-113 PC版-枕版間，緩衝版-枕版間の相対変位の振幅

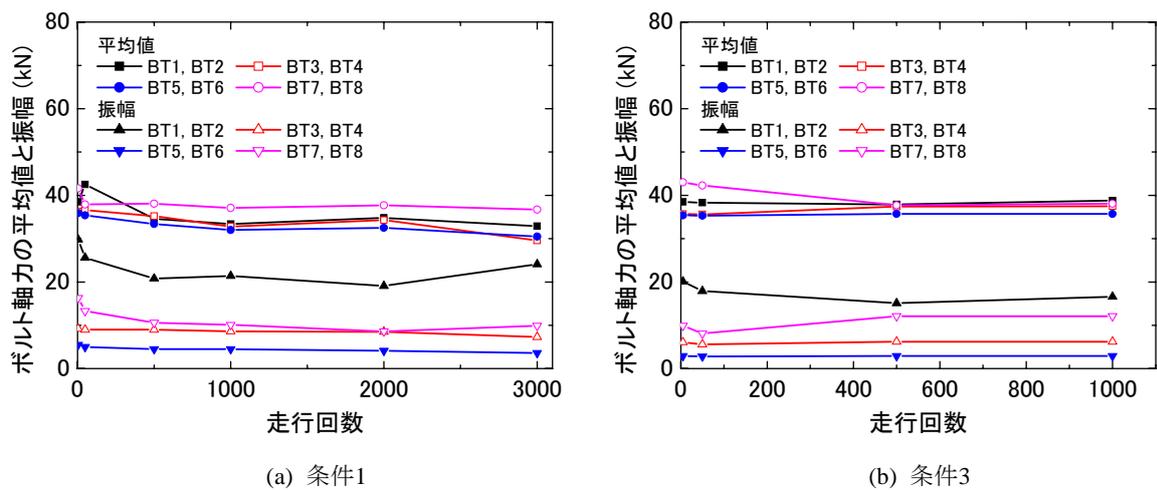


図-114 締結ボルト軸力の平均値と振幅

(2) タイヤ走行時の軸力の変動

ボルトを締結した条件1, 条件3について, タイヤ走行時に連続的に測定したボルトの軸力の平均値および最小値と最大値から計算した振幅量を整理したものを図-114に示す.

条件1, 条件3ともに, 走行載荷試験開始直後と走行開始500回時のボルト軸力の平均値を比較すると, PC版に設置されたボルトの軸力は2割程度減少していた. この理由は, 初期の走行載荷により路盤の圧縮により版の沈下が生じたために, PC版や枕版と路盤との密着度が向上したため, 結果としてボルトの軸力が減少したものと考えられる. しかし, 500回時以降のボルト軸力の平均値の変化は非常に小さく, 繰返し載荷によるボルト軸力の減少は生じないものと考えられる. また, 緩衝版に設置したボルト軸力の平均値は走行回数によらずほぼ一定の値であり, ボルト軸力の振幅も非常に小さいことがわかる.

4.4 まとめ

今回の走行載荷試験から得られた結果をまとめると以下ようになる.

- 1) 締結ボルトによってタイヤ走行時のPC版端部の相対変位量を抑制でき, ポンピングなどが生じにくい状況とすることが出来る.
- 2) 走行載荷試験当初の版の沈下により, ボルト軸力は2割程度減少するものの, 500回を過ぎると相対変位や軸力は安定する.
- 3) 脚荷重の走行によって, 目地構造の表面やゴムなどの摩耗が多少見られるものの, 合計5,000回の載荷試験にも耐久性が高い. また, 目地構造の設置されていない箇所からは水が噴出したものの, 目地構造が設置されている箇所からの水の噴出が観測できなかったため, 目地構造が水の噴き上げを防止する効果が確認された.
- 4) ボルトを締結しない場合には, PC版と枕版との相対変位が大きいために, PC版下面に注入した15mm厚のグラウトが割れたものと推測される.

5. 結論

空港エプロンPC舗装の補強構造について、室内試験、実大規模走行載荷試験、FEM解析等により検討した結果は、以下のようにまとめられる。

5.1 伸縮目地構造について

(1) 第1案目地構造

- ① 伸縮挙動に対して追従することができ、伸縮性能および段差吸収性能に優れている。
- ② 目地遊間部に受ける荷重に対しては、十分な破壊安全率と疲労耐久性が確認されたことから、十分な荷重支持性能を有している。
- ③ 施工性については、いくつかの課題がみられたが、それぞれ翼鉄筋や通し筋の追加、空気抜き孔の追加などによって、対処可能である。
- ④ 脚荷重の走行によって、目地構造の表面やゴムなどの摩耗が多少見られるものの、耐久性は高いと考えられる。また、目地構造が水の噴き上げを防止する効果が確認された。

(2) 第2案目地構造

- ① 伸縮ゴム可動部の浮き上がり現象が発生し、伸縮性能および段差吸収性能に問題がある。
- ② 目地遊間部に受ける荷重に対しては、目地遊間を跨ぐ鋼板が支持する構造であるため、荷重支持性能に優れている。ただし、座グリ部の構造を見直す必要がある。
- ③ 施工性については、工程が多く、各作業内容が煩雑であったため、施工時間の制約を考慮して合理的な施工方法を検討するのが望ましい。

5.2 締結ボルト構造について

- ① 温度変化によるPC版の伸縮に対しては、締結金具内の滑り面にテフロン加工を施した材料を使用すること、ボルト径は締結力、せん断力の検討に加えて曲げ変形を考慮したボルト径を用いることで対応できる。
- ② 締結ボルトによりPC版、緩衝版と枕版との一体化構造については、締結ボルトを配置することにより、航空機走行時のPC版端部の相対変位量を抑制でき、ポンピングなどが生じにくい状況とすることが出来る。また、ボルトの配置間隔については、40kN程度のボルト締結力を導入することにより、ボルト配置間隔が1.1mの場合のみならず2.2mの場合でも、相対変位を低減することができる。
- ③ PC版への締結金具の取り付け方法については、取り付け試験を行い、基本的には問題なく作業可能なこと

を確認した。また、ボルト締結力の管理方法については、ボルト締結力の減少に及ぼす要因を明らかにし、これらの要因を考慮したボルト締結力の管理方法を提案した。

6. おわりに

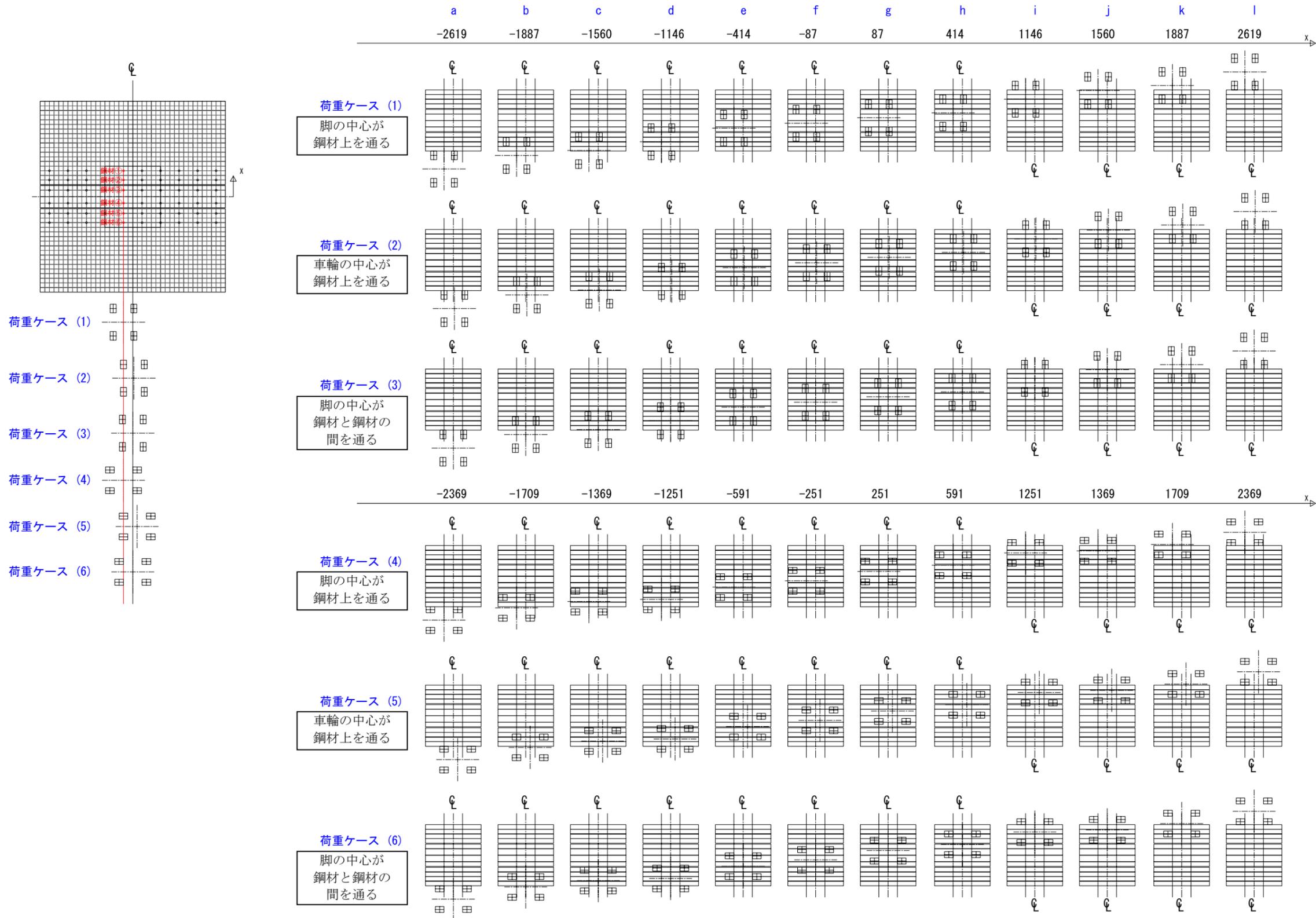
本研究を実施するにあたり、国土交通省関東地方整備局東京空港整備事務所、国土交通省東京航空局東京空港事務所から多くの助言を頂きました。厚くお礼申し上げます。また、独立行政法人港湾空港技術研究所 八谷好高地盤・構造部長、北詰昌樹特別研究官をはじめ、本共同研究に関わって頂いた関係各位に謝意を表します。

(2008年2月14日受付)

参考文献

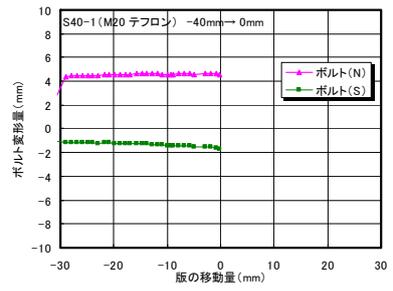
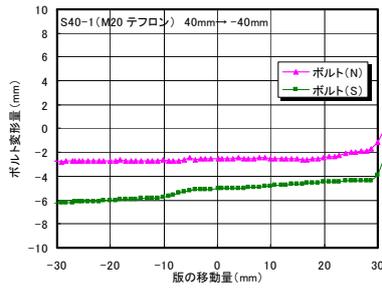
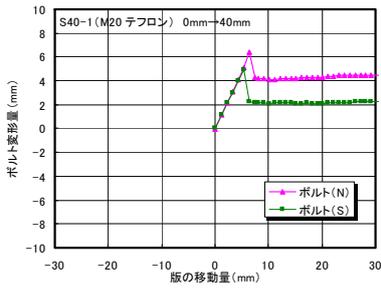
- 1) 八谷好高, 野上富治, 横井聰之, 赤嶺文繁, 坪川将丈, 松崎和博, 高橋 修, 室園正徳, 阿部 寛: プレキャスト PC 舗装版を対象とした圧縮ジョイントの構造設計法, 国土技術政策総合研究所研究報告, No.3, 2001.
- 2) 上菌 晃, 中島 禎, 宮内 健, 今井泰男, 稲田雅裕: PC舗装リフトアップ工法に使用するグラウト材の品質に関する検討, 第1回舗装工学講演会講演論文集, pp.299-304, 1996.

載荷荷重ケースの選定

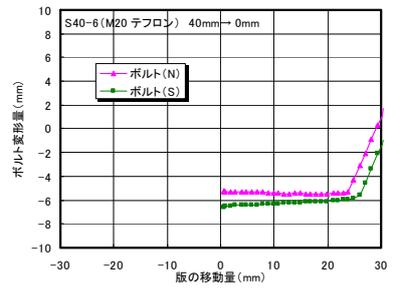
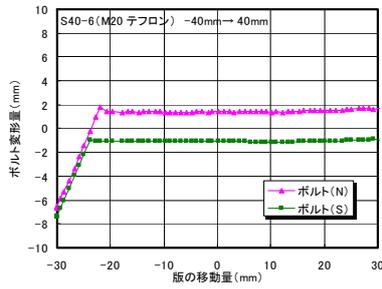
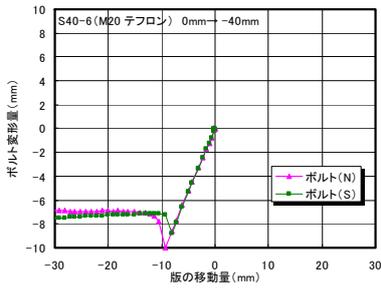


【解析ケース】
 解析は、左図に示すように荷重ケース (1) ~ 荷重ケース (6) について、各載荷パターンを載荷させた際に PC 版端部と枕版との隙間が最大となる載荷位置で決定した。

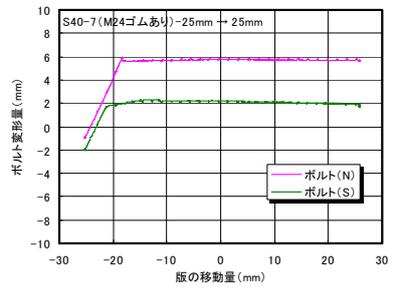
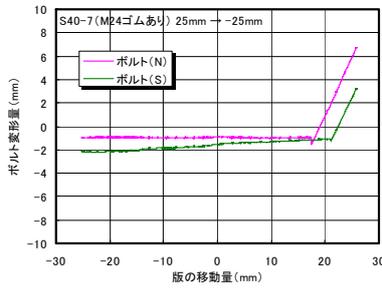
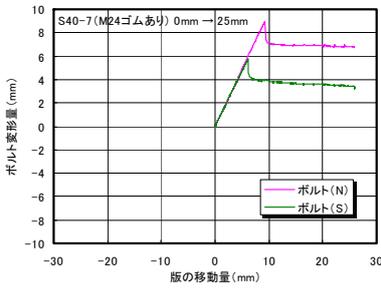
付録-2 ボルト先端部の変形量と版の移動量の結果



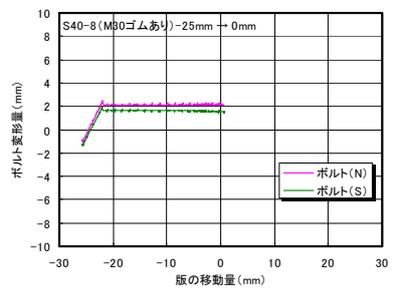
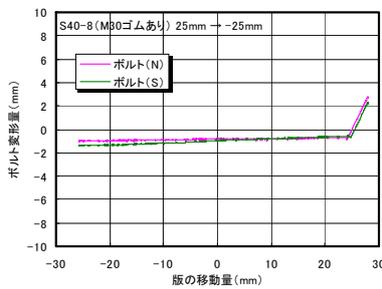
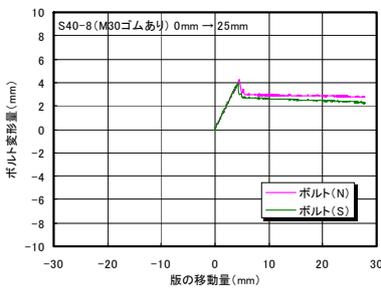
S40-1



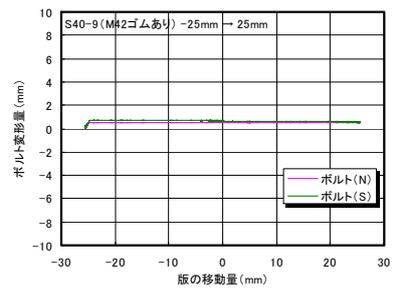
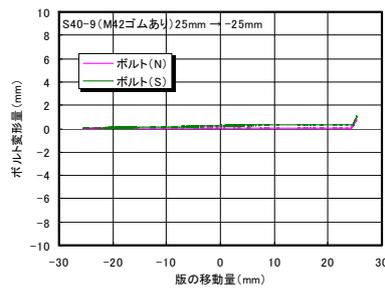
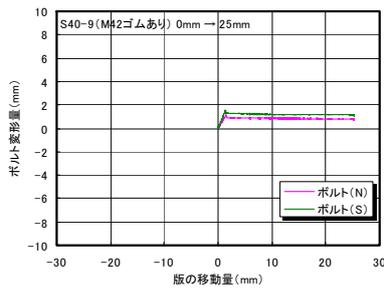
S40-6



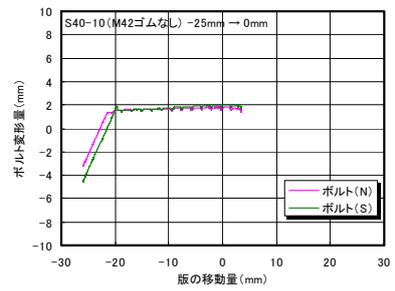
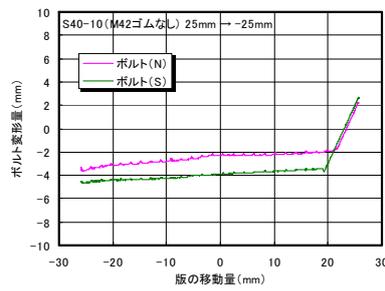
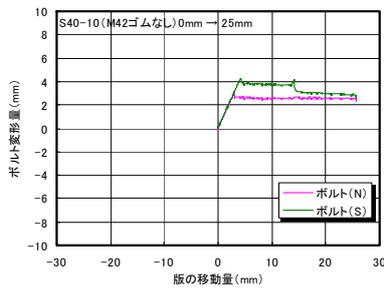
S40-7



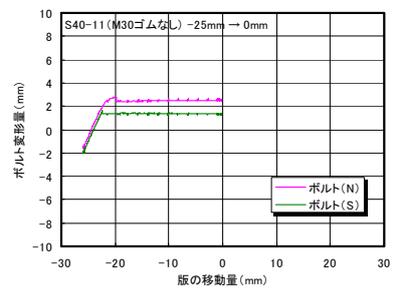
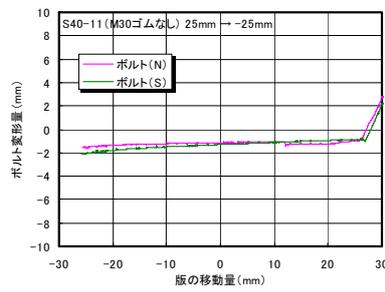
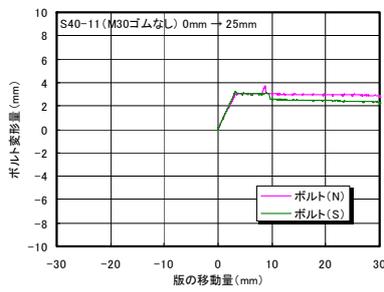
S40-8



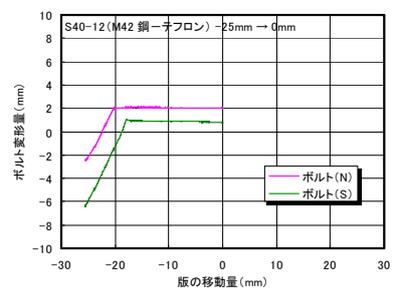
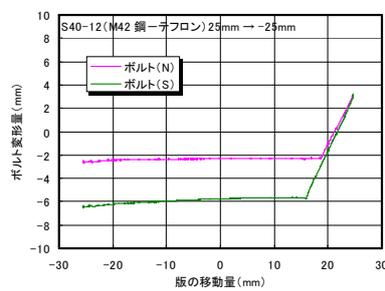
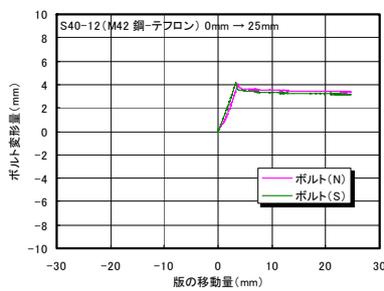
S40-9



S40-10

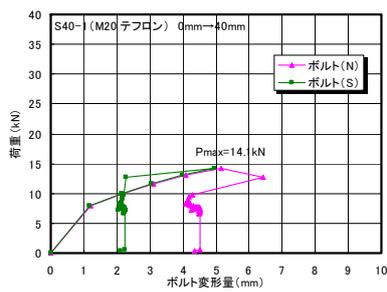


S40-11

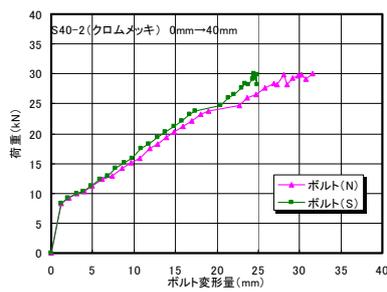


S40-12

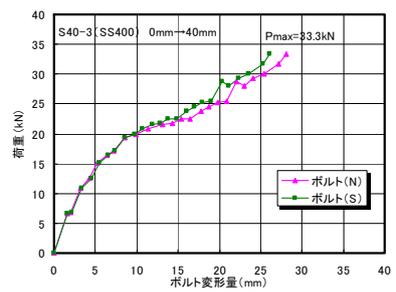
付録-3 水平荷重とボルト先端部変形量の結果



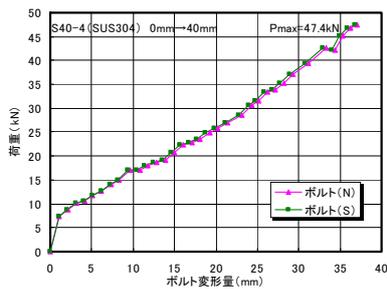
S40-1



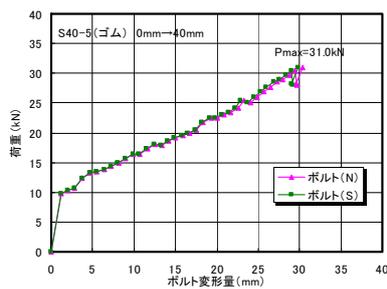
S40-2



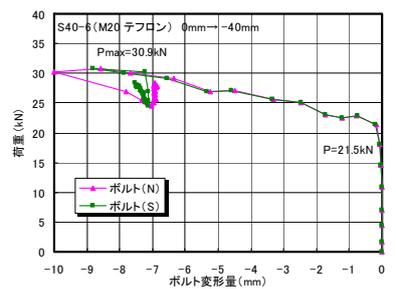
S40-3



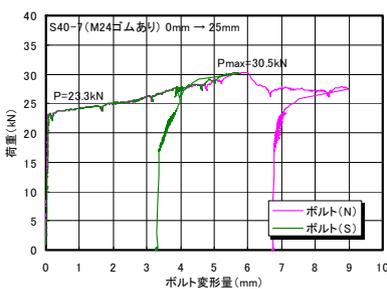
S40-4



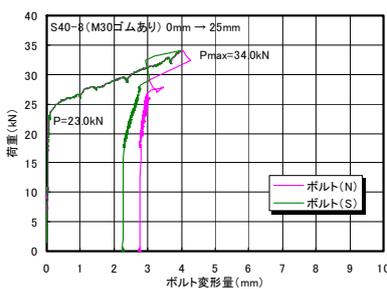
S40-5



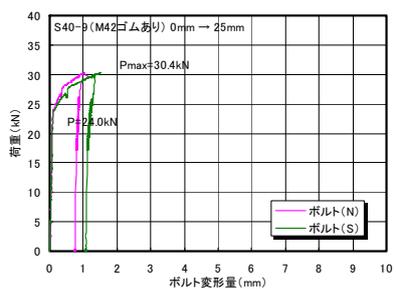
S40-6



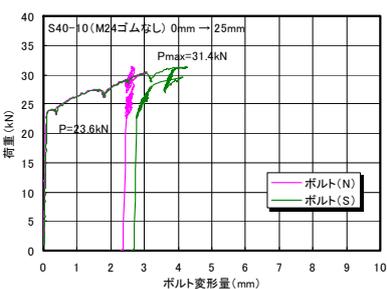
S40-7



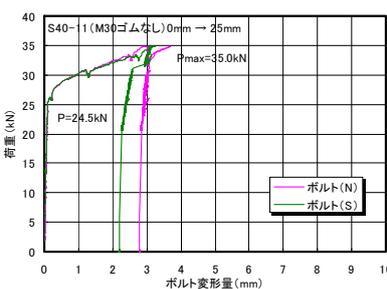
S40-8



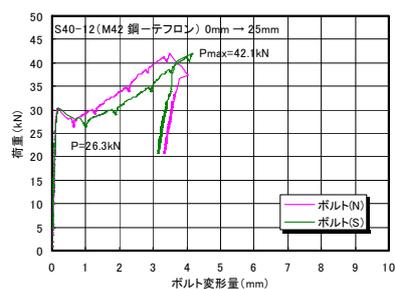
S40-9



S40-10

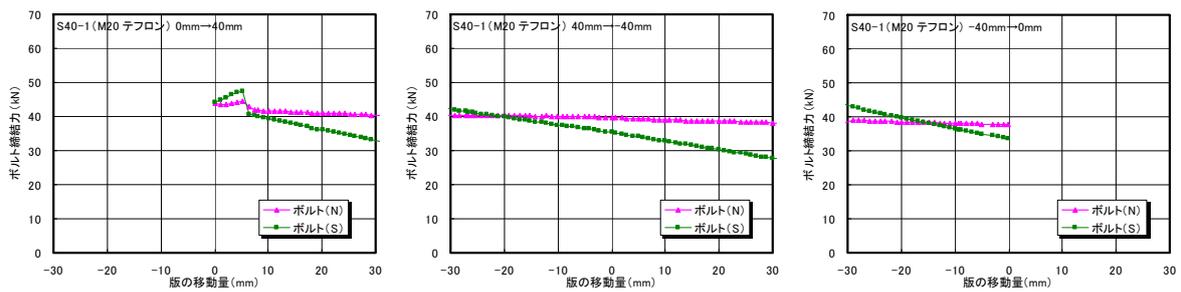


S40-11

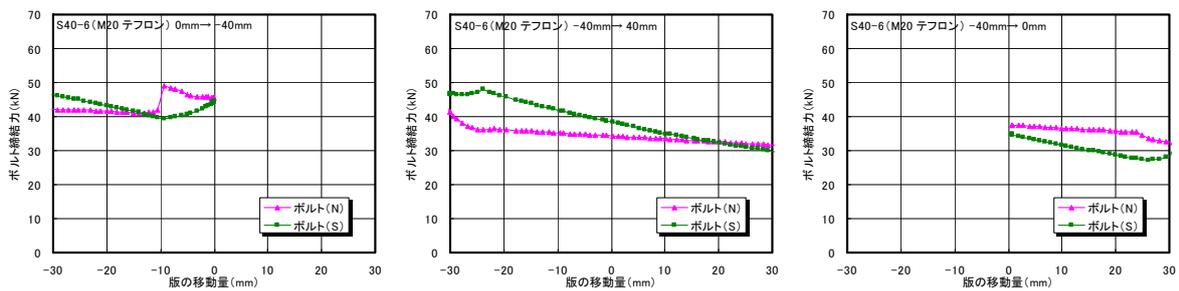


S40-12

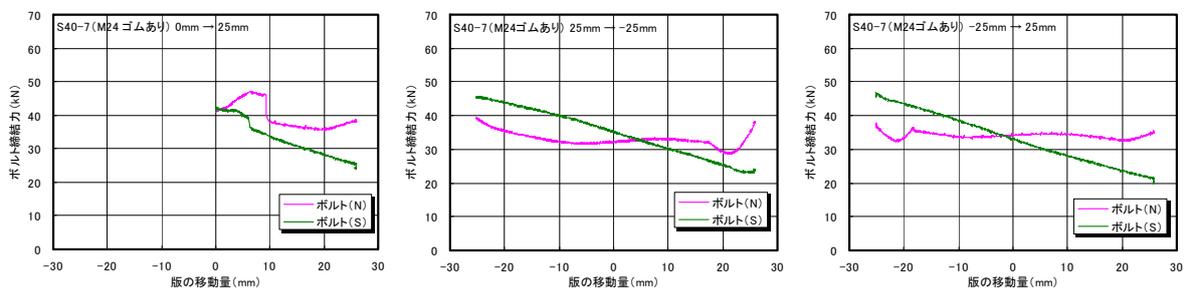
付録-4 ボルト締結力と版の移動量の結果



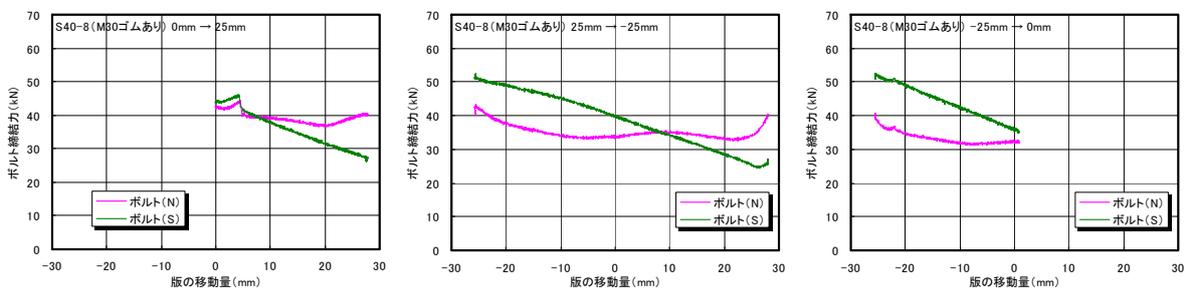
S40-1



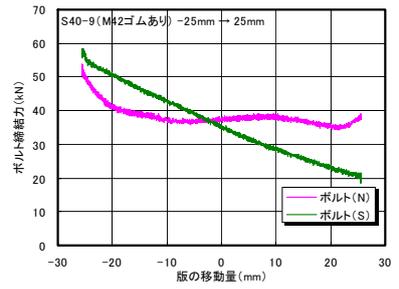
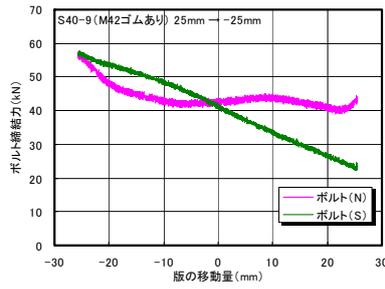
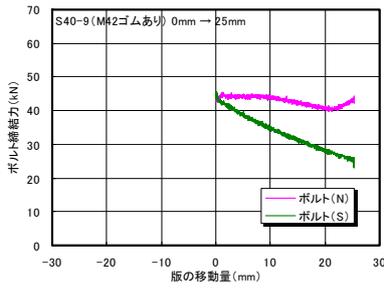
S40-6



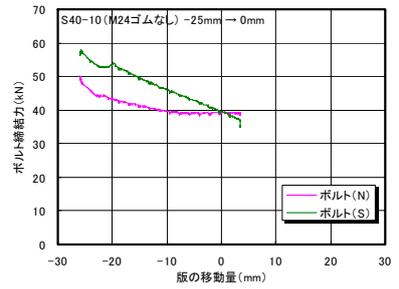
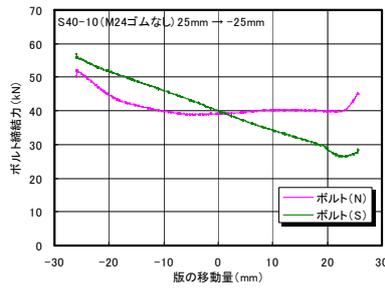
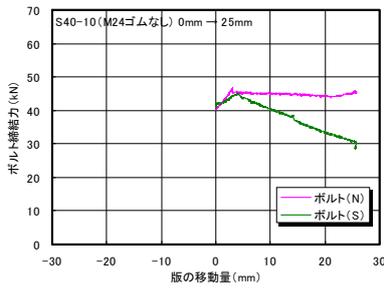
S40-7



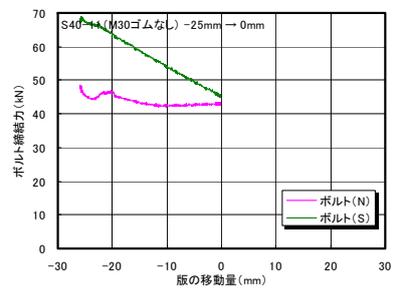
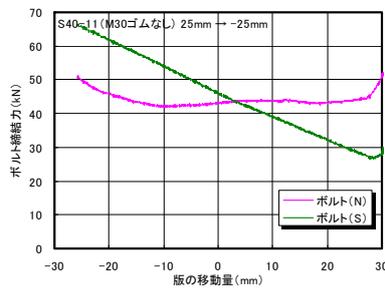
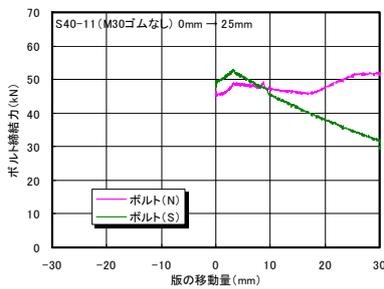
S40-8



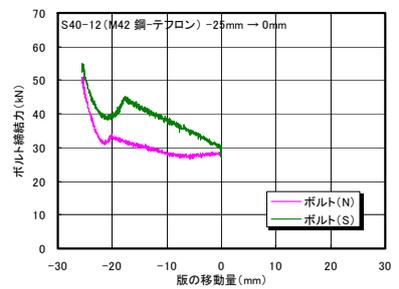
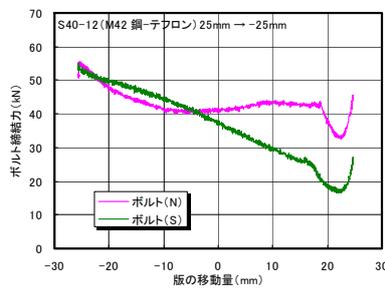
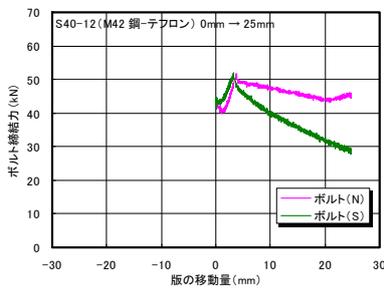
S40-9



S40-10

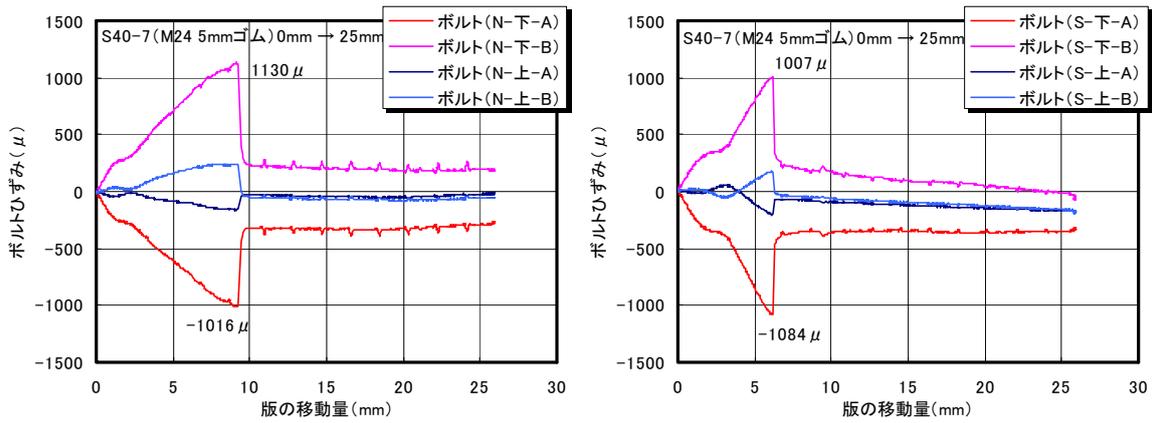


S40-11

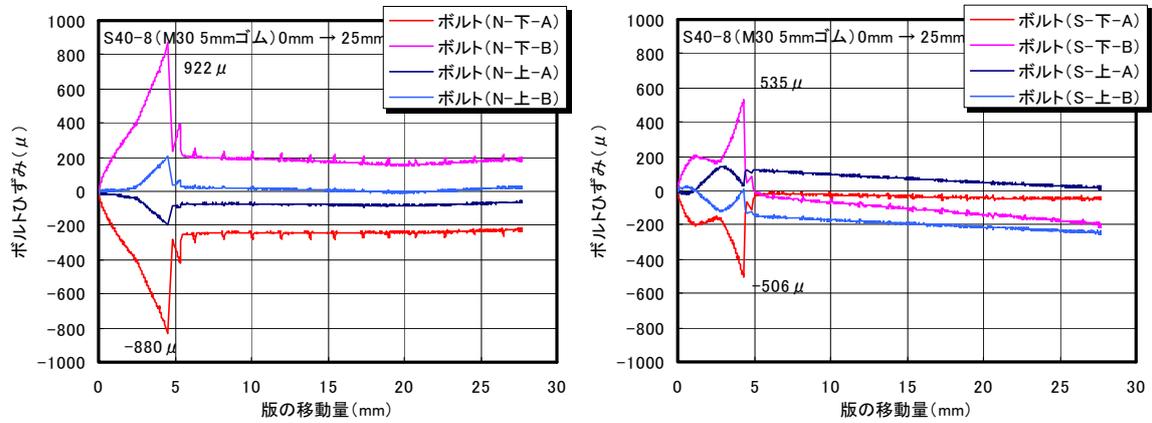


S40-12

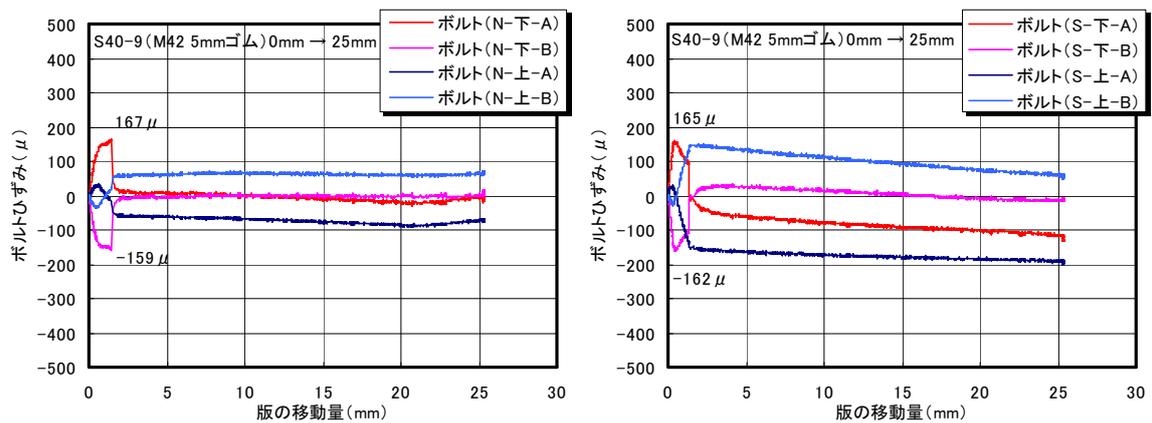
付録-5 ボルト基部に生じたひずみと版の移動量の結果 (0 → 25mm 移動時)



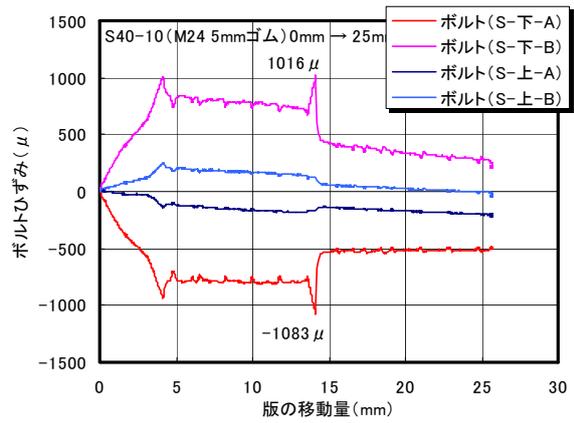
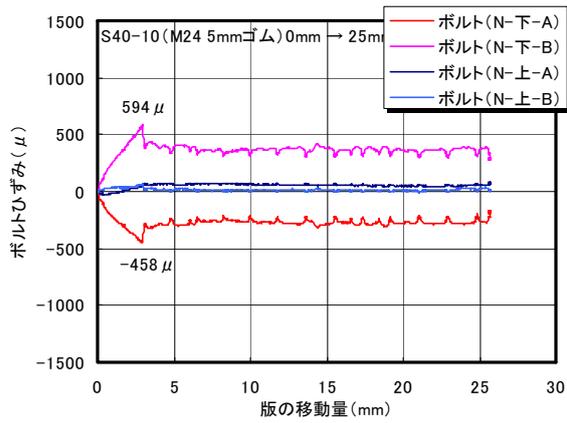
S40-7



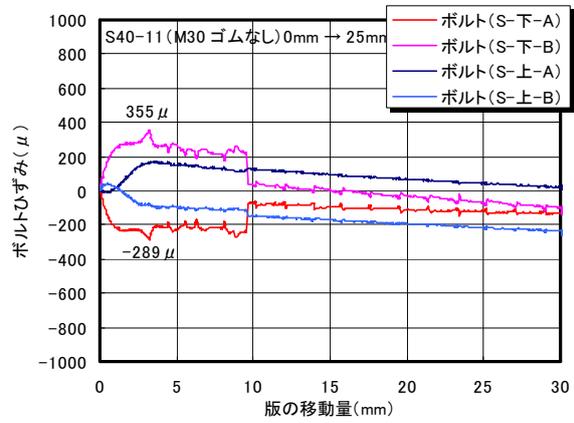
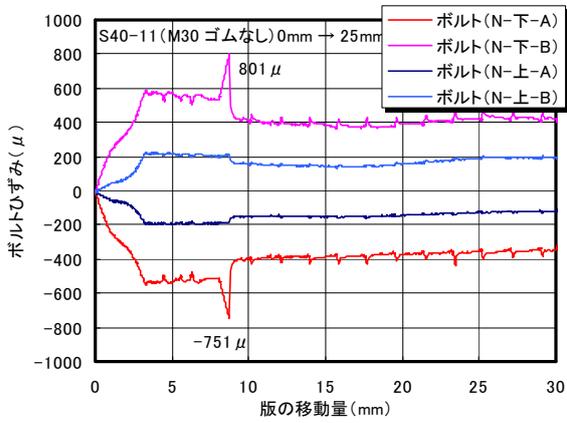
S40-8



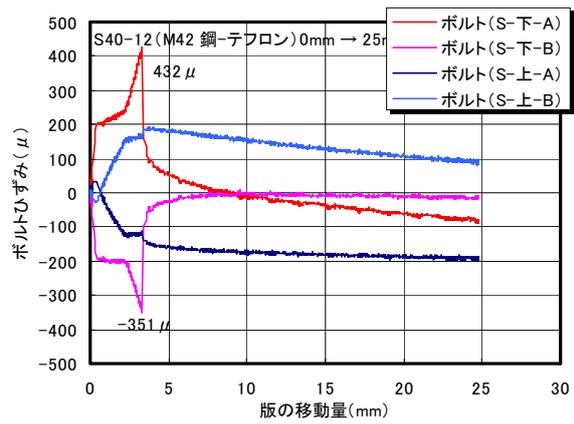
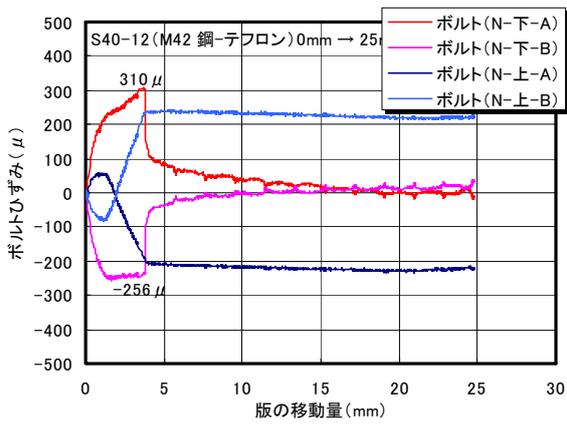
S40-9



S40-10

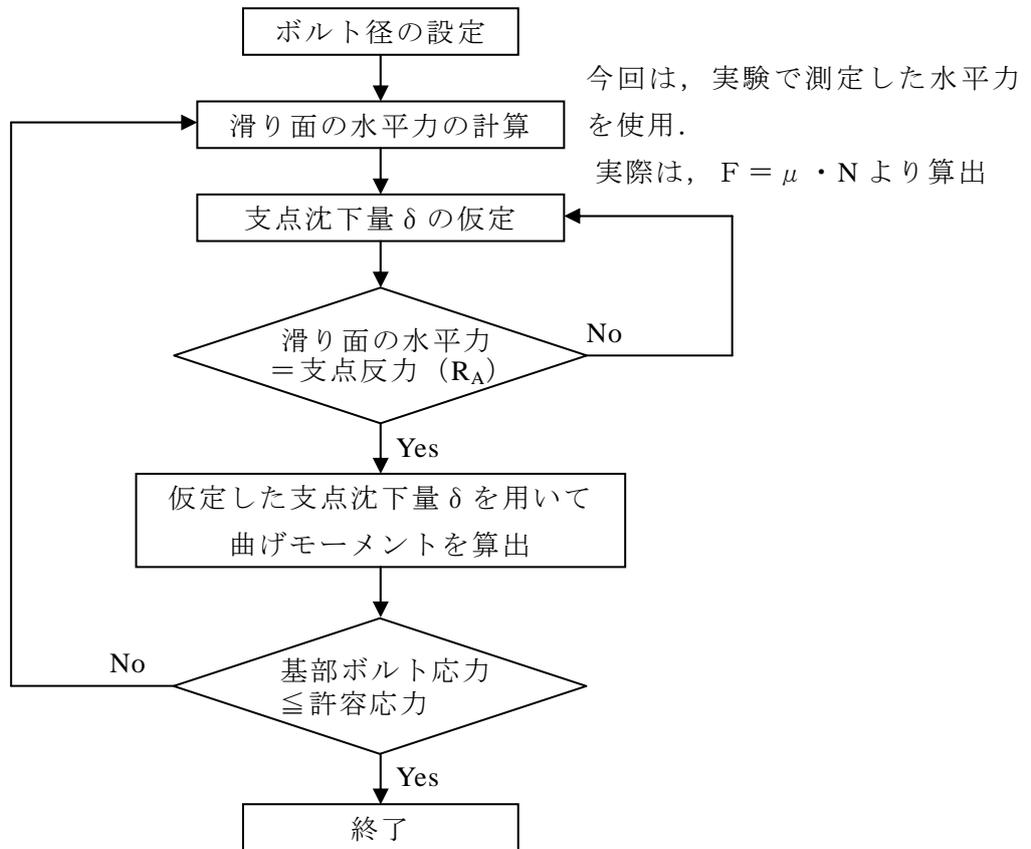


S40-11



S40-12

付録-6 両端固定のはり式を用いたボルト基部応力の算出方法



荷重, たわみ曲線, せん断力図, 曲げモーメント図	反力 R_A, R_B , せん断力 Q	曲げモーメント M
14) 	$R_A = R_B = \frac{12EI}{l^3} \delta$ $Q = R_A$	$M = \frac{6EI\delta}{l^2} \left(2\frac{x}{l} - 1 \right)$ $M_{\max} = \frac{6EI}{l^2} \delta$ $M_A = M_B = -\frac{6EI}{l^2} \delta$

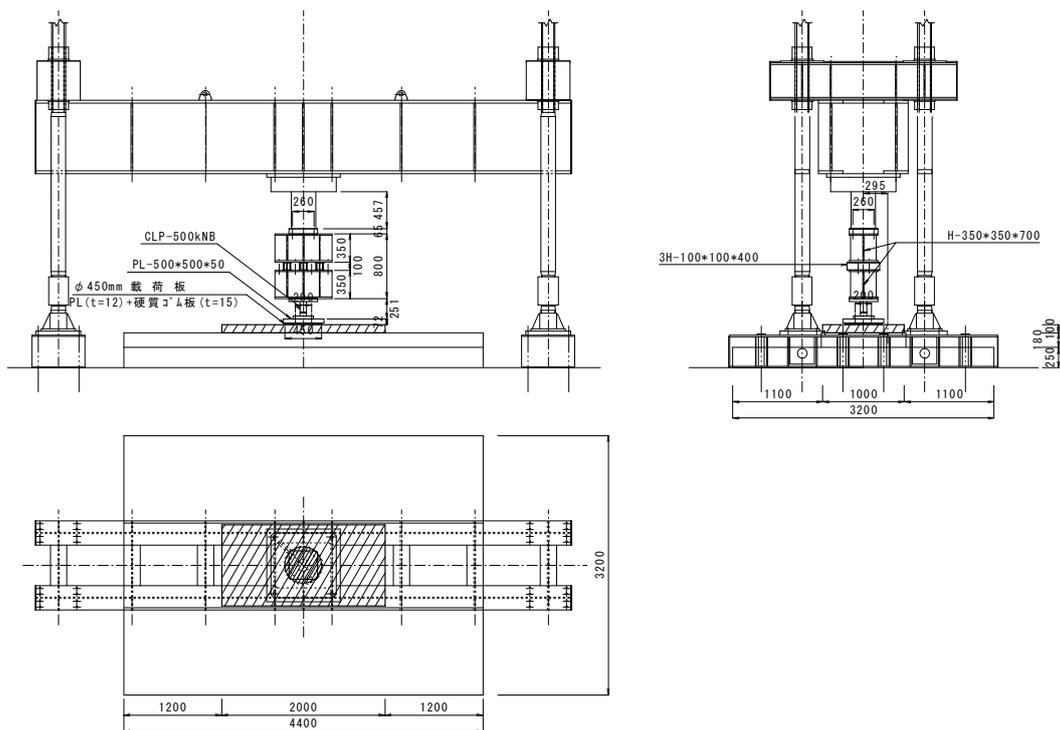
構造力学公式集より抜粋

付録-7 模擬路盤（発泡スチロール）の平板載荷試験の結果

【試験方法】

路盤材として使用する硬質発泡スチロール（カネパールソイルブロック DX-29）の路盤支持力係数を把握することを目的として、静的載荷試験前に平板載荷試験を実施する。

試験は、（株）ピーエス三菱の小田原技術研究所の鉛直載荷システムを使用し、下記図に示すように、載荷装置上に硬質発泡スチロール（2000×100×100mm および 2000×100×200mm）を敷き、直径 450mm の鋼製円形載荷板を設置して載荷する。



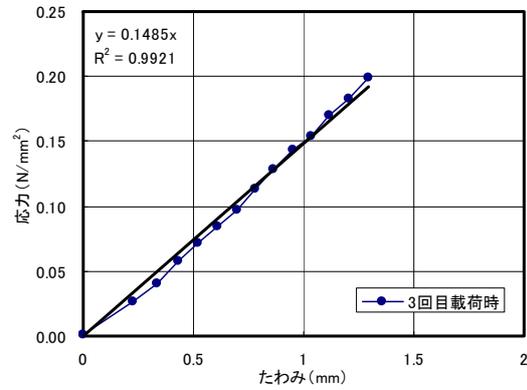
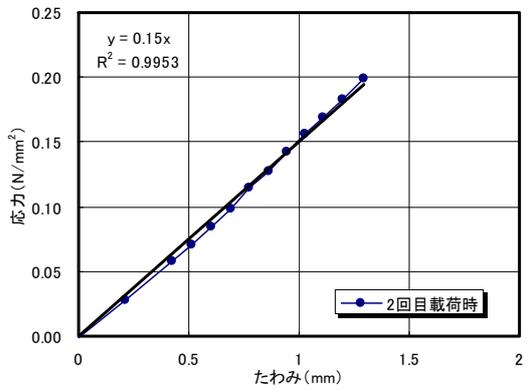
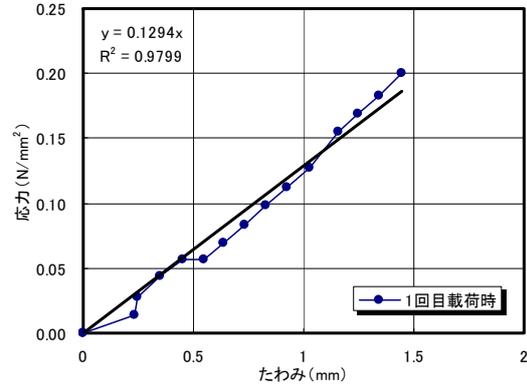
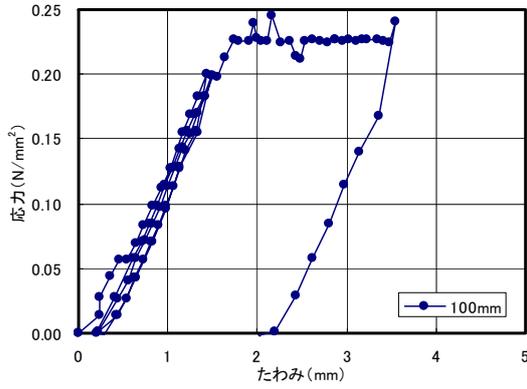
発泡スチロールの平板載荷試験図



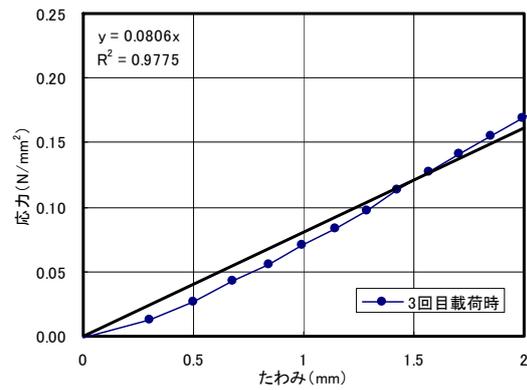
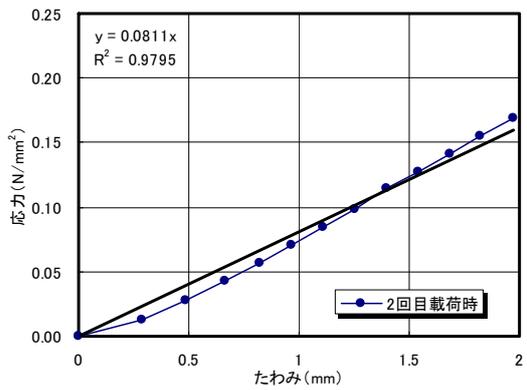
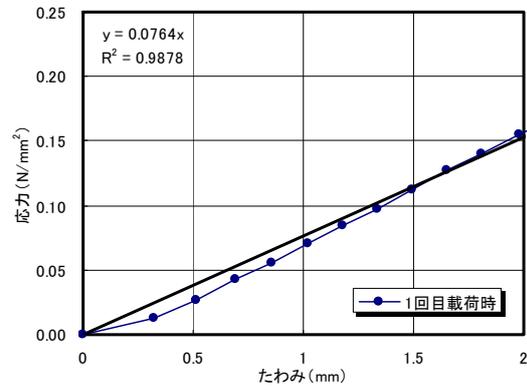
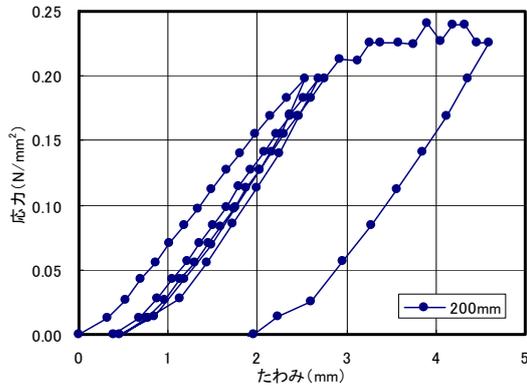
模擬路盤（発泡スチロール）の平板載荷試験の状況

【試験結果】

①発泡スチロール厚さ 100mm のケース ($K=0.14\text{N/mm}^3$)

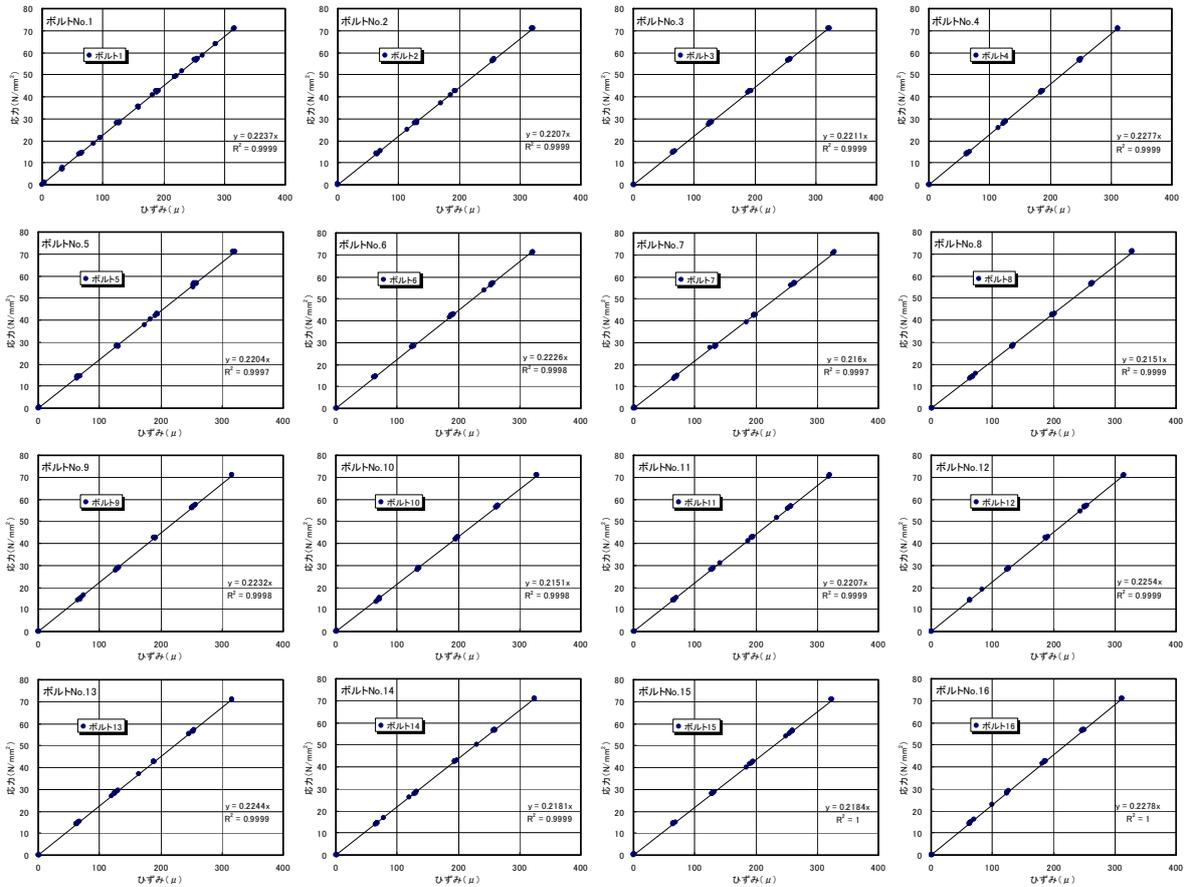


②発泡スチロール厚さ 200mm のケース ($K=0.08\text{N/mm}^3$)



付録-8 締結ボルトの応力-ひずみの関係

実験に使用したボルト 1～16 の応力-ひずみの関係ならびに鋼材の弾性係数の測定結果を以下に示す。



No.	弾性係数 (N/mm ²)	No.	弾性係数 (N/mm ²)	No.	弾性係数 (N/mm ²)	No.	弾性係数 (N/mm ²)
No. 1	223700	No. 5	220400	No. 9	223200	No. 13	224400
No. 2	220700	No. 6	222600	No. 10	215100	No. 14	218100
No. 3	221100	No. 7	216000	No. 11	220700	No. 15	218400
No. 4	227700	No. 8	215100	No. 12	225400	No. 16	227800
弾性係数平均値 (N/mm ²)				221275			

$$5\text{kN 時} \rightarrow 7.1 \text{ (N/mm}^2\text{)} \rightarrow \epsilon = \sigma / E = 7.1 / 221,275 \times 10^6 = 32 \text{ (}\mu\text{)}$$

$$40\text{kN 時} \rightarrow 56.6 \text{ (N/mm}^2\text{)} \rightarrow \epsilon = \sigma / E = 56.6 / 221,275 \times 10^6 = 256 \text{ (}\mu\text{)}$$

として、実験時の締結力を管理した。

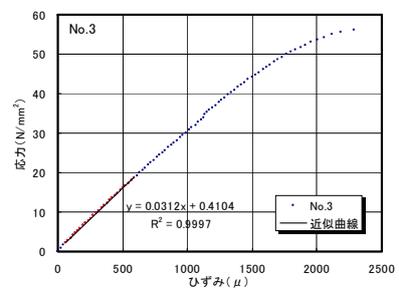
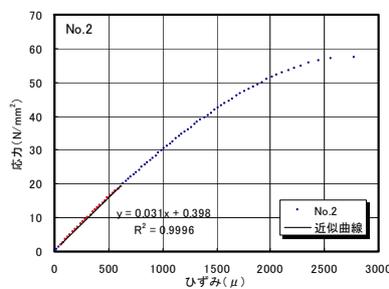
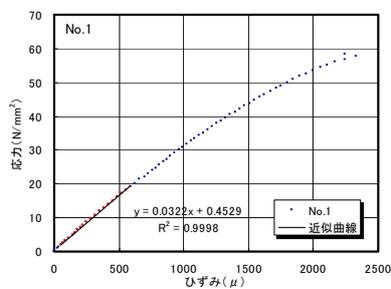


ボルトの引張試験の状況

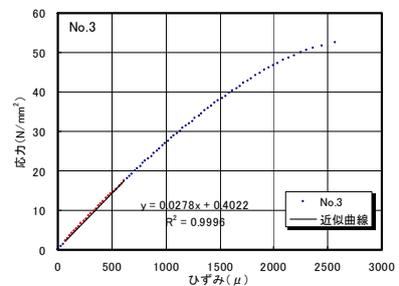
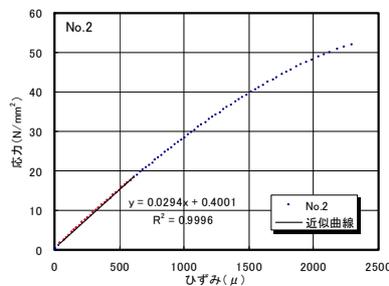
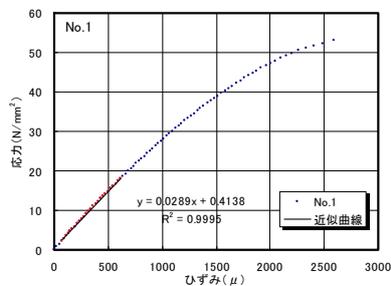
付録-9 圧縮強度試験の結果

		載荷試験前			載荷試験後		
		2006/3/7			2006/3/29		
		圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)		圧縮強度 (N/mm ²)		
緩衝版 枕版	2/20-No. 1	58.3	57.3	32200	31500	61.4	61.1
	2/20-No. 2	57.4		31000		59.6	
	2/20-No. 3	56.2		31200		62.4	
P C 版	2/22-No. 1	52.9	53.0	28900	28700	58.3	58.9
	2/22-No. 2	53.8		29400		59.8	
	2/22-No. 3	52.4		27800		58.5	

【2/20 打設分】



【2/22 打設分】



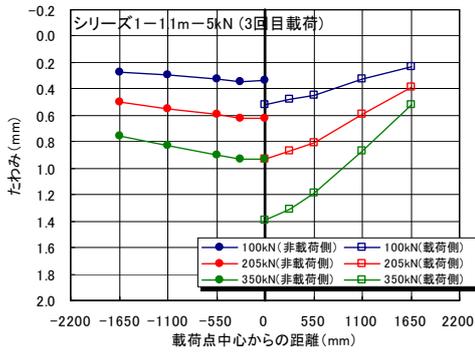
載荷試験前に実施したコンクリート試験体の応力-ひずみの関係



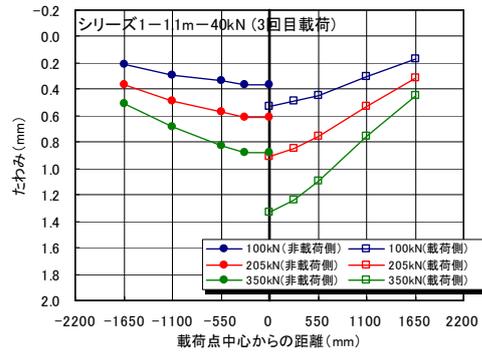
圧縮強度試験の状況

付録-10 目地平行方向のたわみ分布

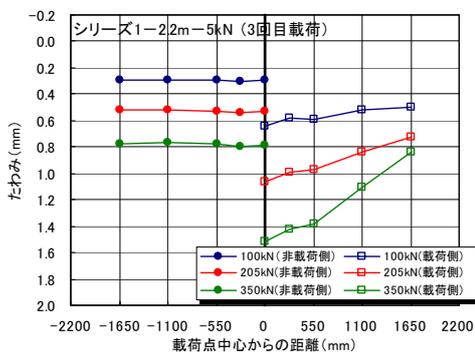
(1) シリーズ 1



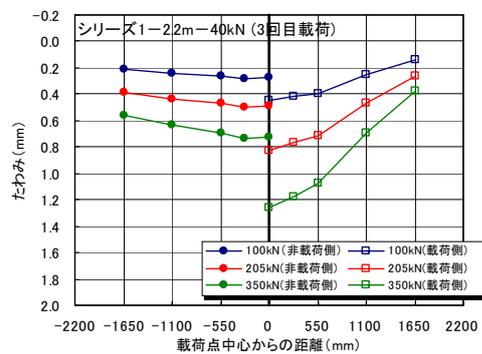
シリーズ 1-1. 1m-5kN



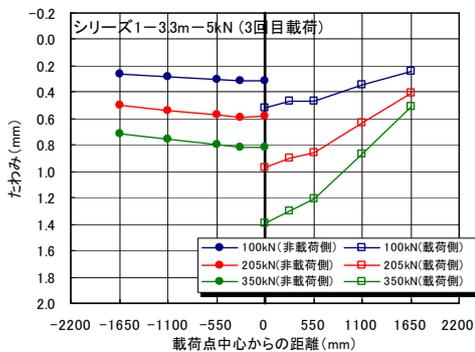
シリーズ 1-1. 1m-40kN



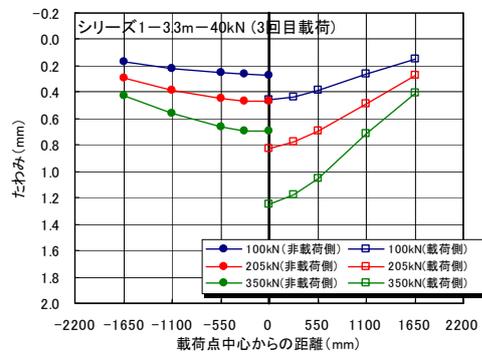
シリーズ 1-2. 2m-5kN



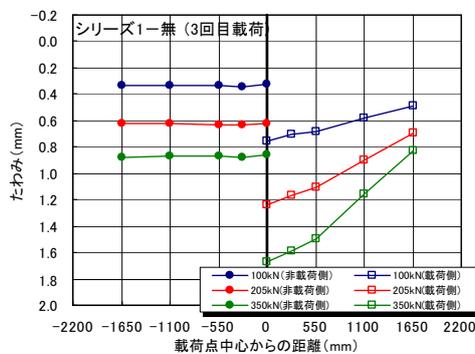
シリーズ 1-2. 2m-40kN



シリーズ 1-3. 3m-5kN

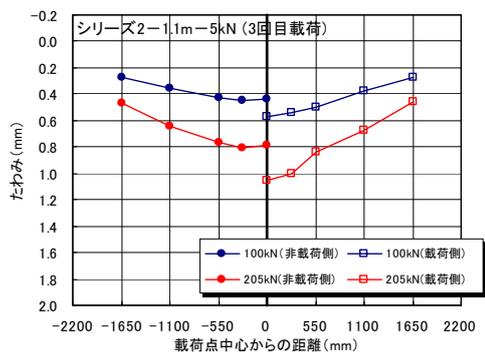


シリーズ 1-3. 3m-40kN

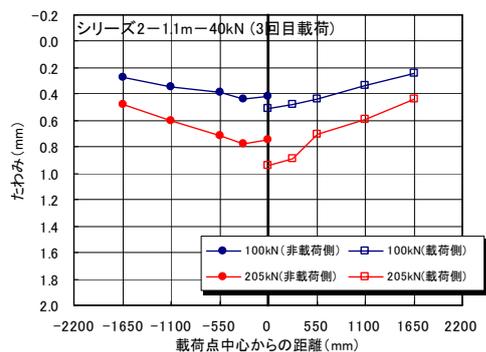


シリーズ 1-無

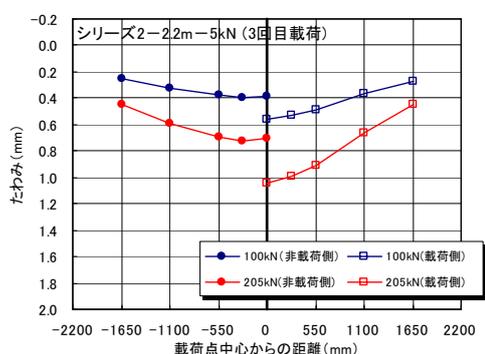
(2) シリーズ 2



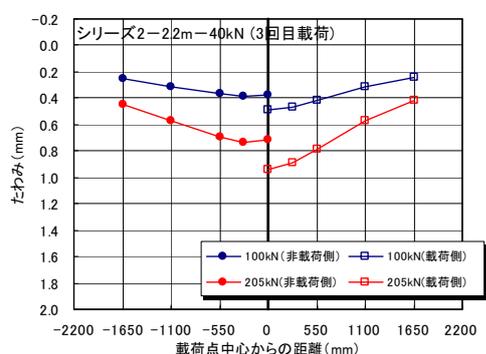
シリーズ 2-1.1m-5kN



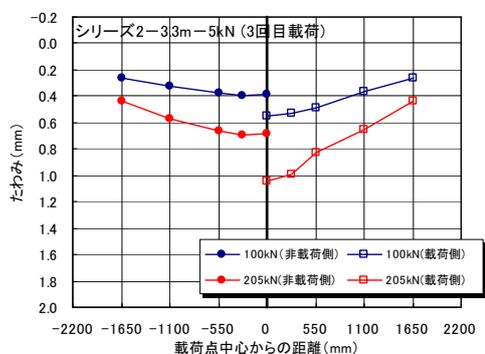
シリーズ 2-1.1m-40kN



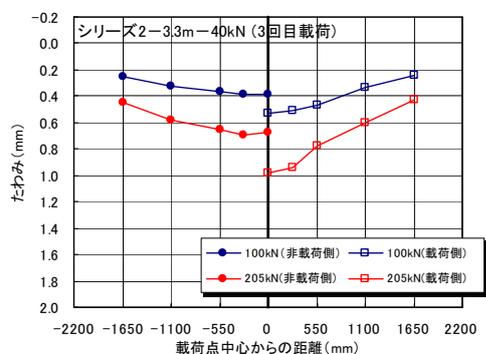
シリーズ 2-2.2m-5kN



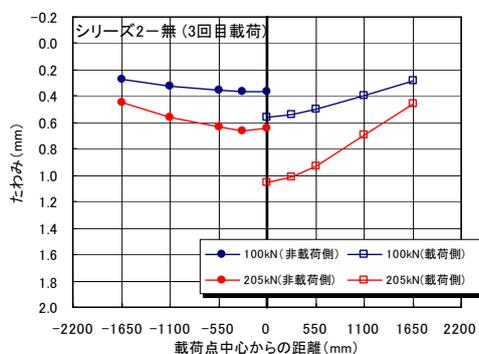
シリーズ 2-2.2m-40kN



シリーズ 2-3.3m-5kN

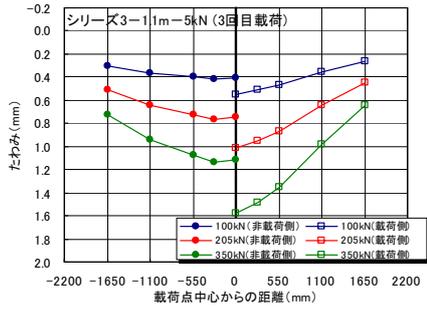


シリーズ 2-3.3m-40kN

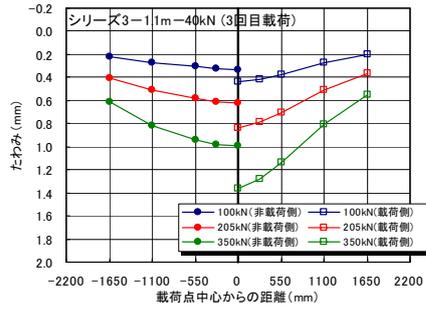


シリーズ 2-無

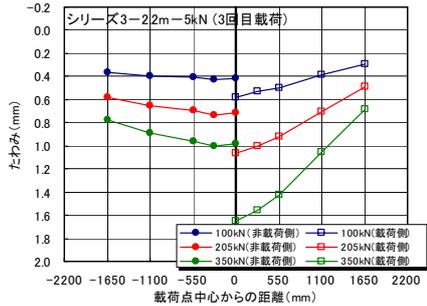
(3) シリーズ 3



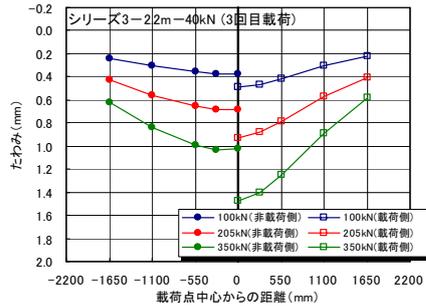
シリーズ 3-1.1m-5kN



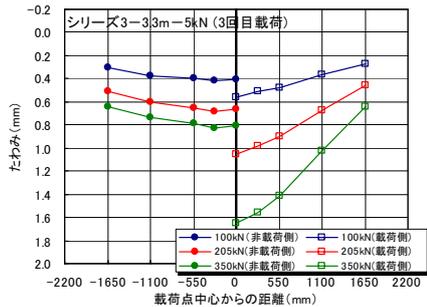
シリーズ 3-1.1m-40kN



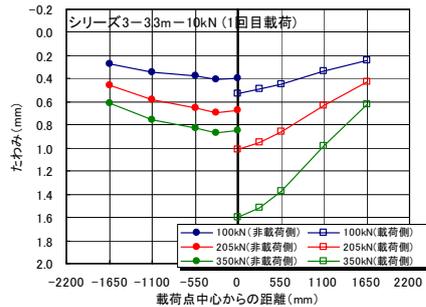
シリーズ 3-2.2m-5kN



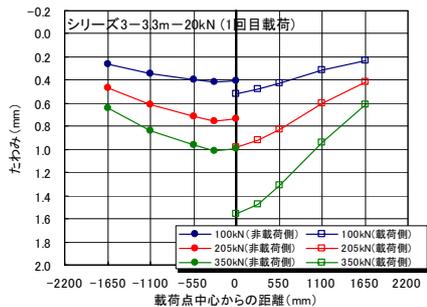
シリーズ 3-2.2m-40kN



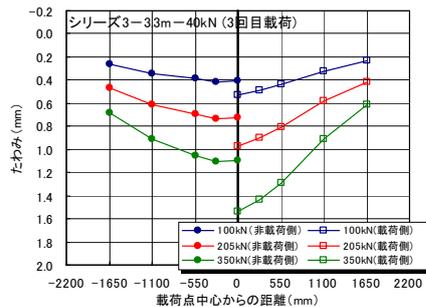
シリーズ 3-3.3m-5kN



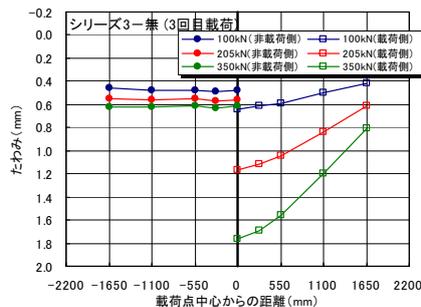
シリーズ 3-3.3m-10kN



シリーズ 3-3.3m-20kN

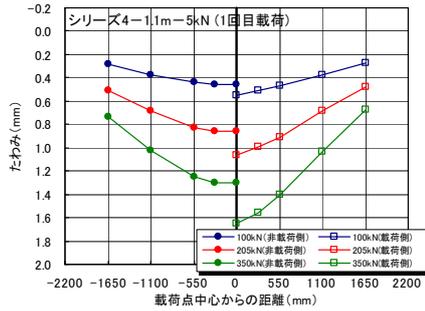


シリーズ 3-3.3m-40kN

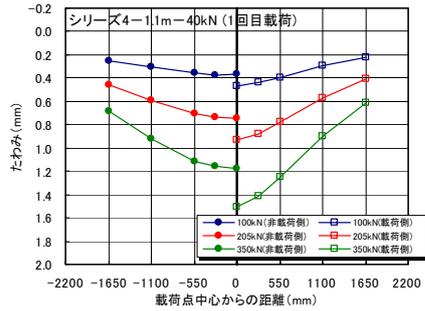


シリーズ 3-無

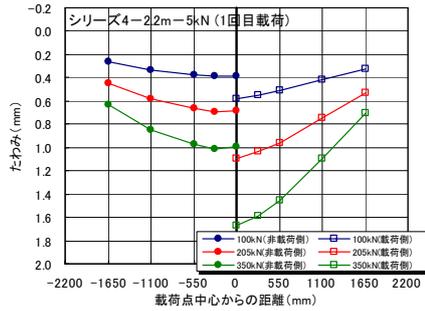
(4) シリーズ 4



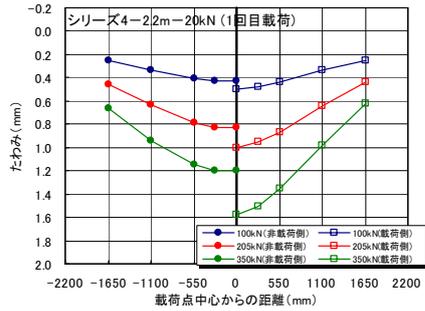
シリーズ 4-1.1m-5kN



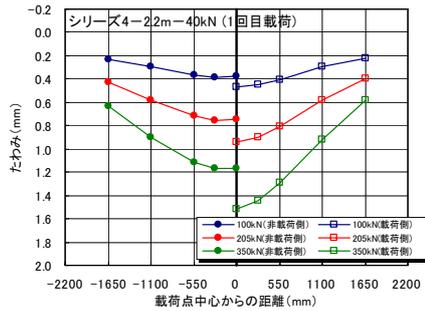
シリーズ 4-1.1m-40kN



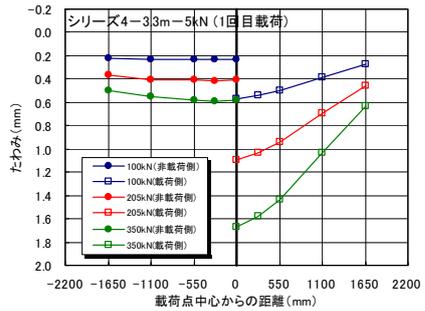
シリーズ 4-2.2m-5kN



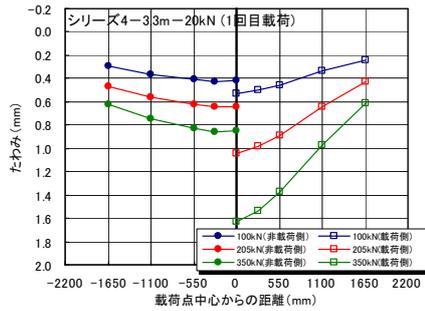
シリーズ 4-2.2m-20kN



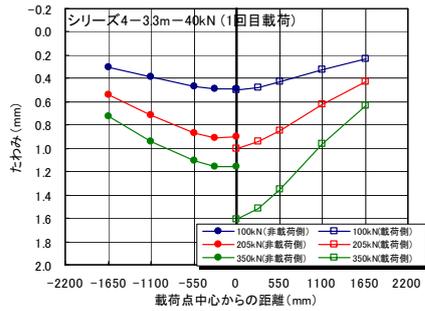
シリーズ 4-2.2m-40kN



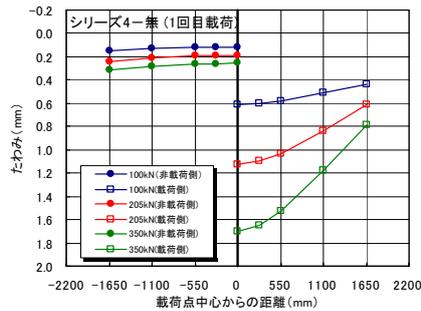
シリーズ 4-3.3m-5kN



シリーズ 4-3.3m-20kN



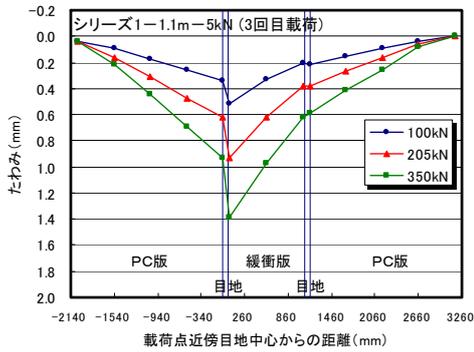
シリーズ 4-3.3m-40kN



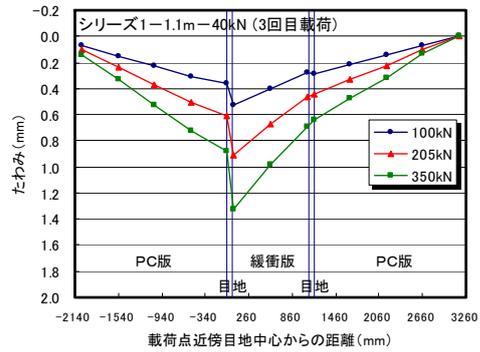
シリーズ 4-無

付録-11 目地直角方向のたわみ分布

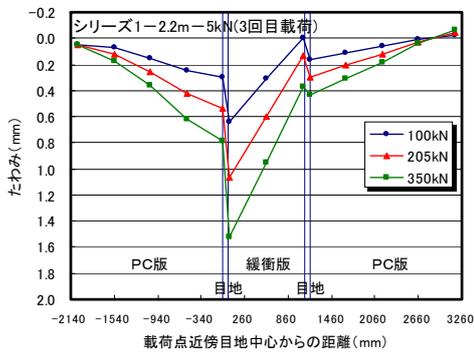
(1) シリーズ 1



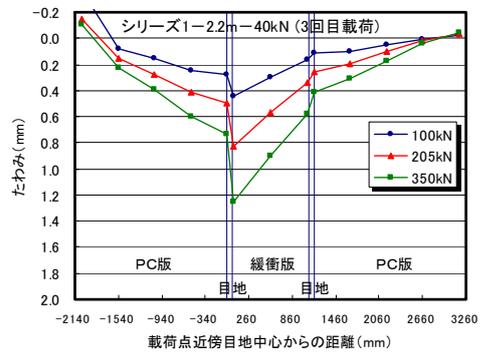
シリーズ 1-1.1m-5kN



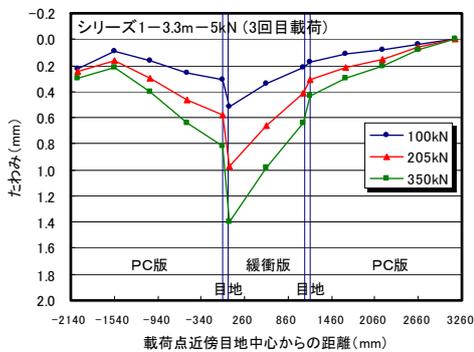
シリーズ 1-1.1m-40kN



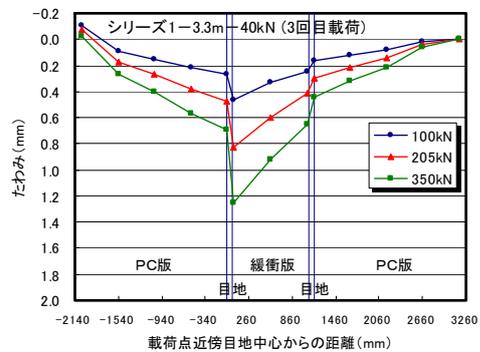
シリーズ 1-2.2m-5kN



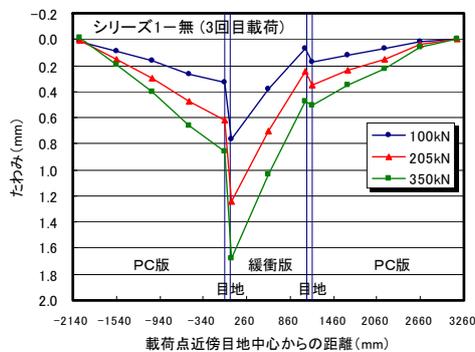
シリーズ 1-2.2m-40kN



シリーズ 1-3.3m-5kN

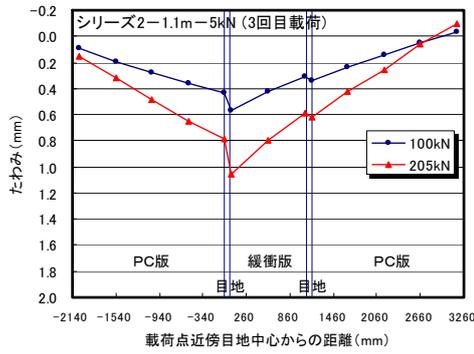


シリーズ 1-3.3m-40kN

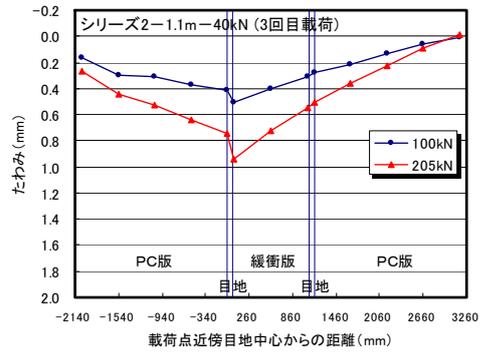


シリーズ 1-無

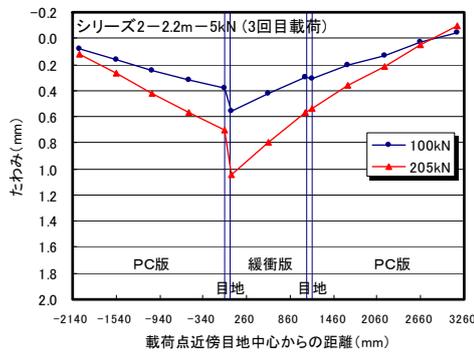
(2) シリーズ 2



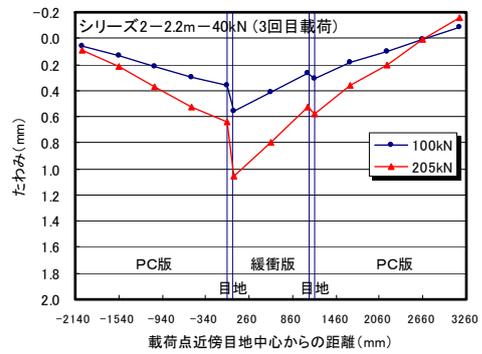
シリーズ 2-1.1m-5kN



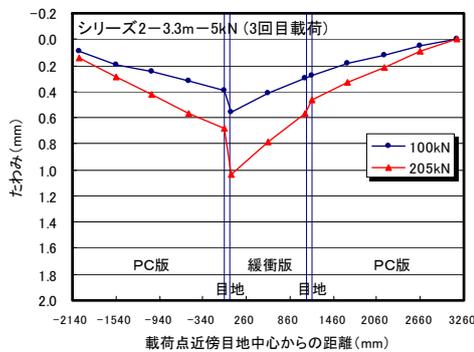
シリーズ 2-1.1m-40kN



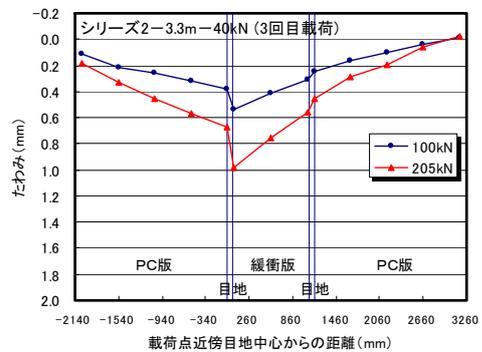
シリーズ 2-2.2m-5kN



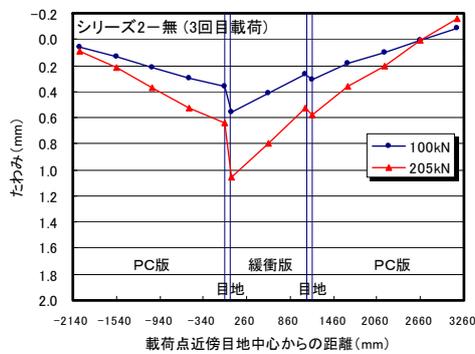
シリーズ 2-2.2m-40kN



シリーズ 2-3.3m-5kN

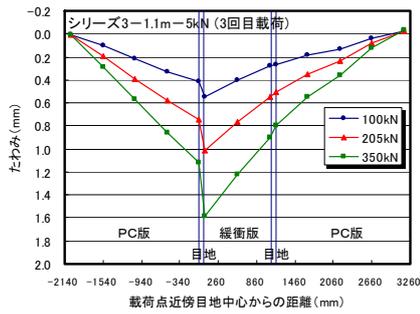


シリーズ 2-3.3m-40kN

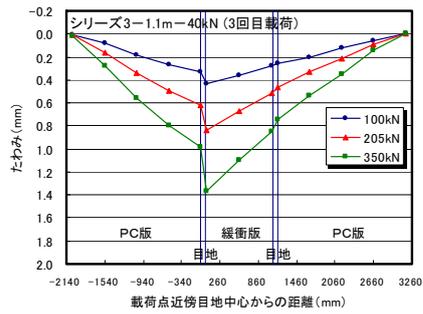


シリーズ 2-無

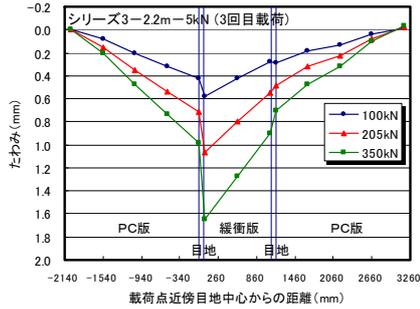
(3) シリーズ 3



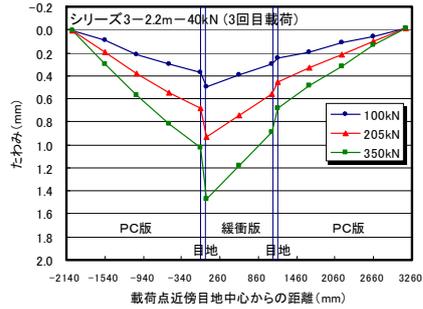
シリーズ 3-1.1m-5kN



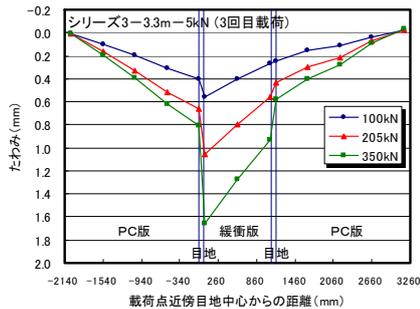
シリーズ 3-1.1m-40kN



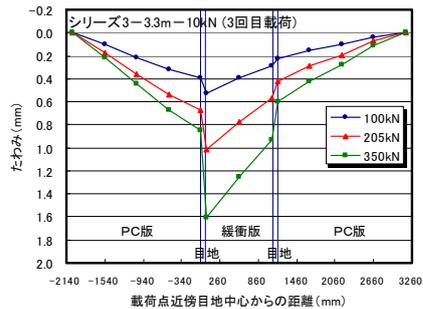
シリーズ 3-2.2m-5kN



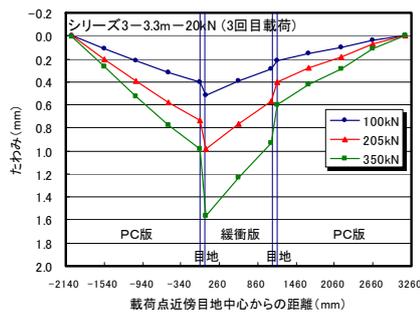
シリーズ 3-2.2m-40kN



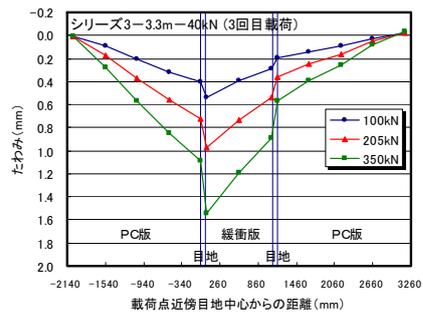
シリーズ 3-3.3m-5kN



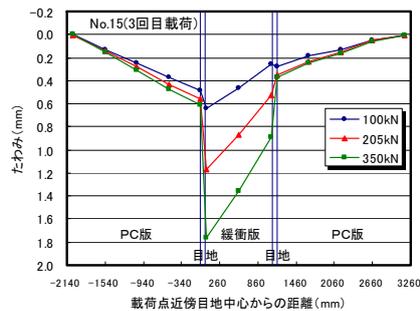
シリーズ 3-3.3m-10kN



シリーズ 3-3.3m-20kN

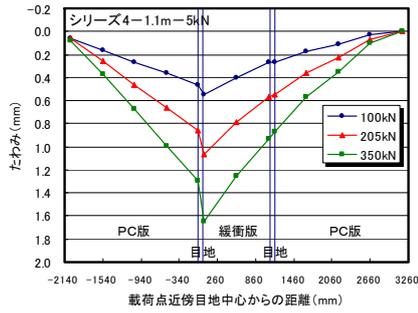


シリーズ 3-3.3m-40kN

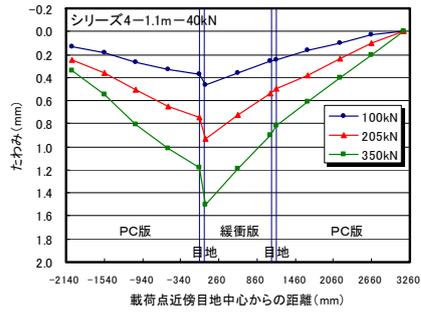


シリーズ 3-無

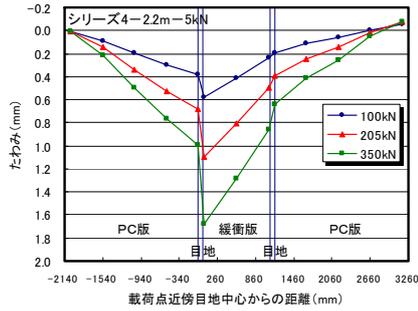
(4) シリーズ 4



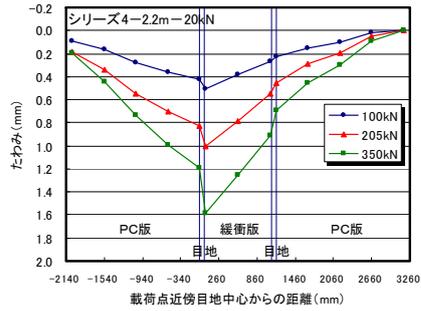
シリーズ 4-1.1m-5kN



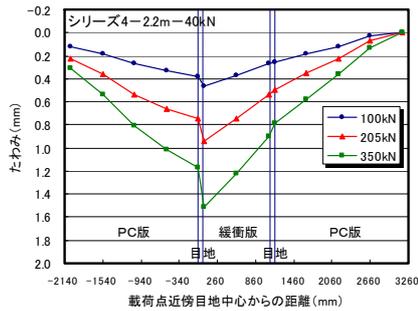
シリーズ 4-1.1m-40kN



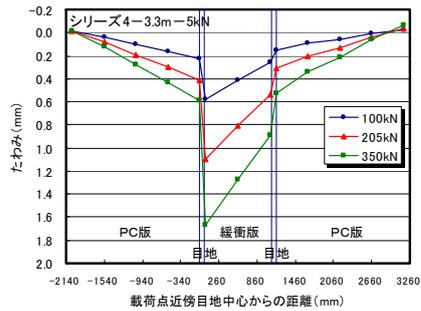
シリーズ 4-2.2m-5kN



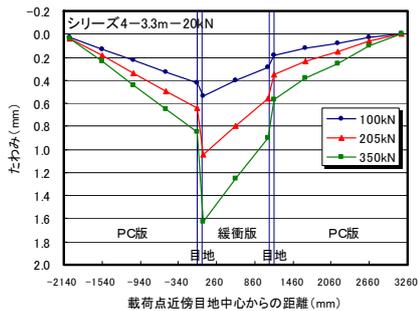
シリーズ 4-2.2m-20kN



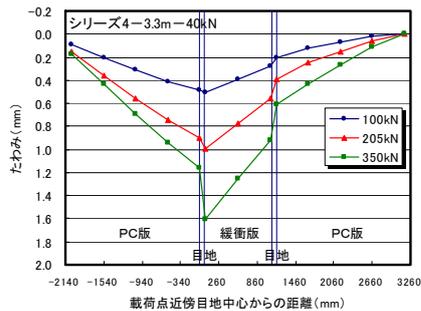
シリーズ 4-2.2m-40kN



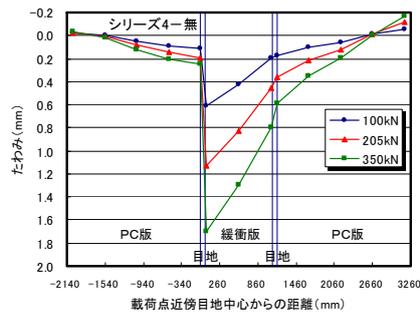
シリーズ 4-3.3m-5kN



シリーズ 4-3.3m-20kN



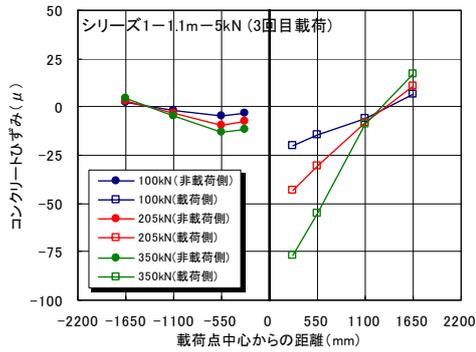
シリーズ 4-3.3m-40kN



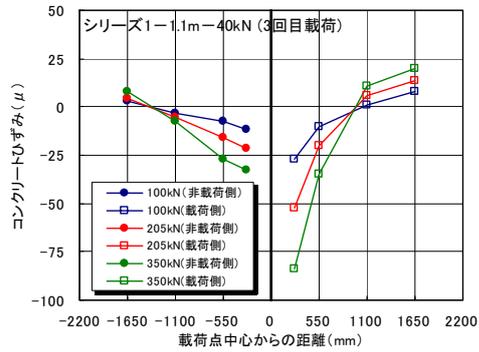
シリーズ 4-無

付録-12 目地平行方向のひずみ分布

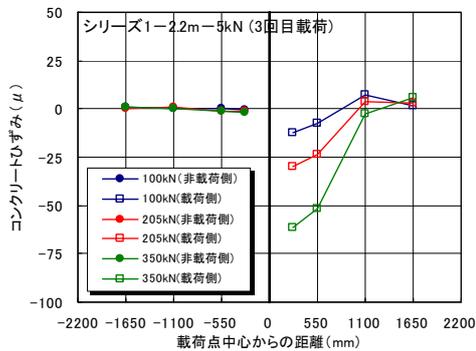
(1) シリーズ 1



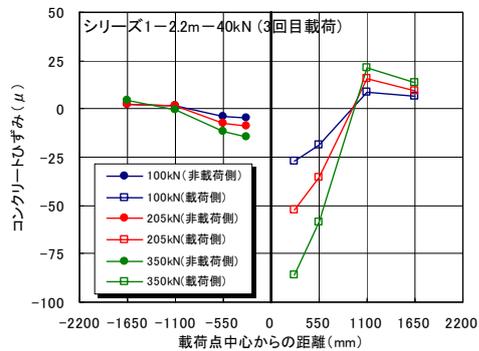
シリーズ 1-1.1m-5kN



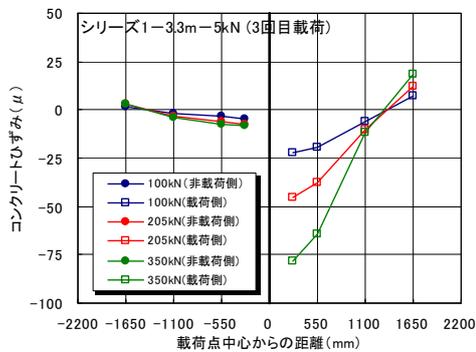
シリーズ 1-1.1m-40kN



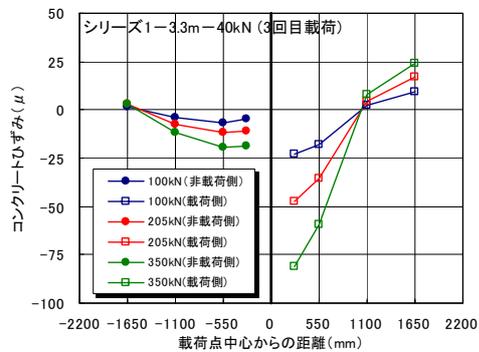
シリーズ 1-2.2m-5kN



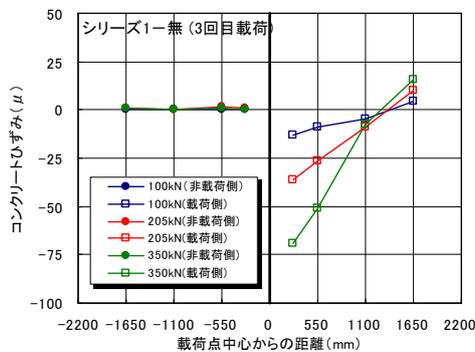
シリーズ 1-2.2m-40kN



シリーズ 1-3.3m-5kN

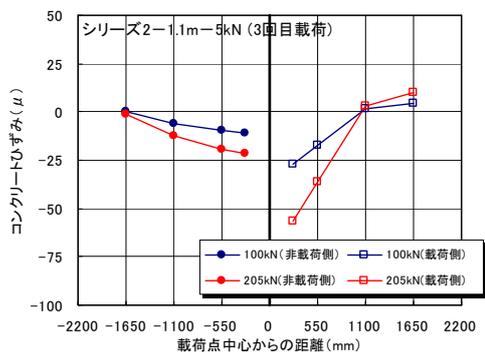


シリーズ 1-3.3m-40kN

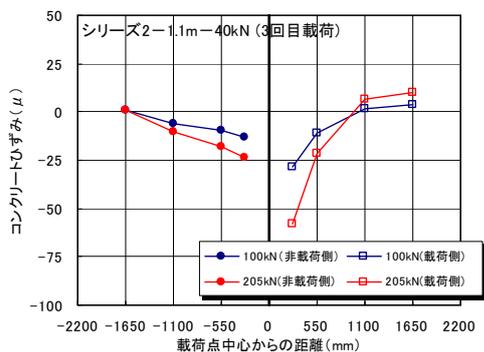


シリーズ 1-無

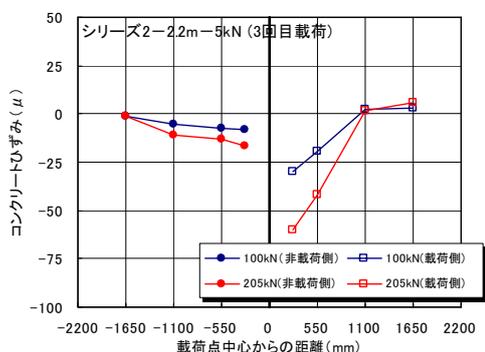
(2) シリーズ 2



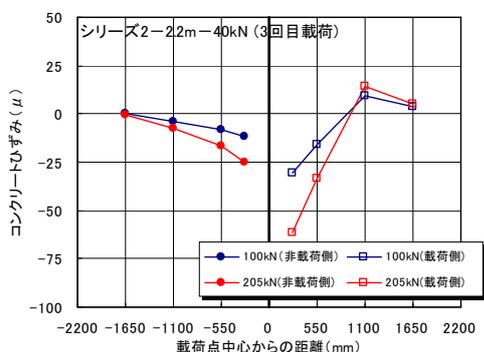
シリーズ 2-1. 1m-5kN



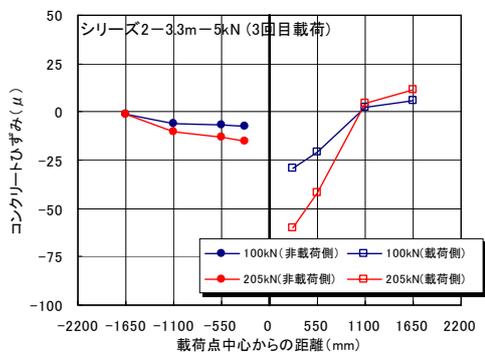
シリーズ 2-1. 1m-40kN



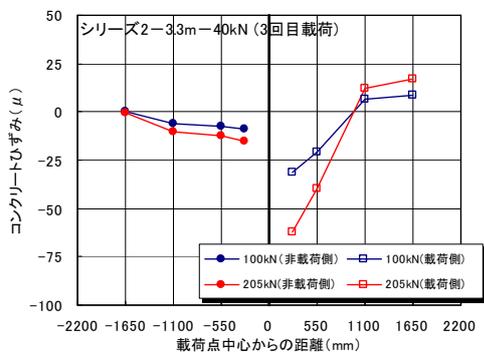
シリーズ 2-2. 2m-5kN



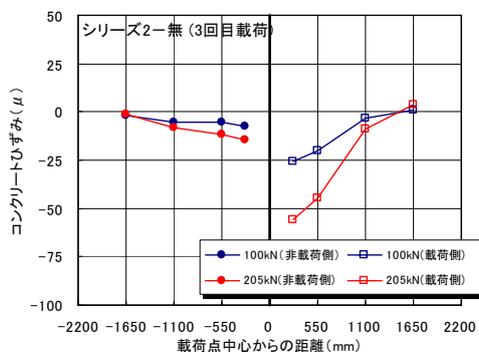
シリーズ 2-2. 2m-40kN



シリーズ 2-3. 3m-5kN

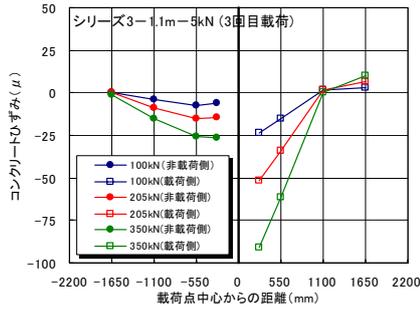


シリーズ 2-3. 3m-40kN

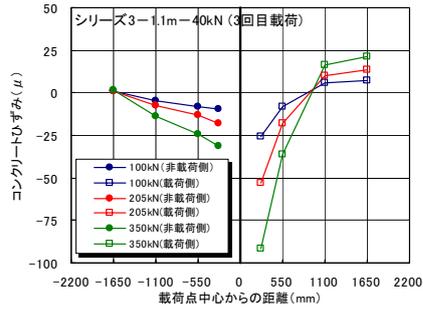


シリーズ 2-無

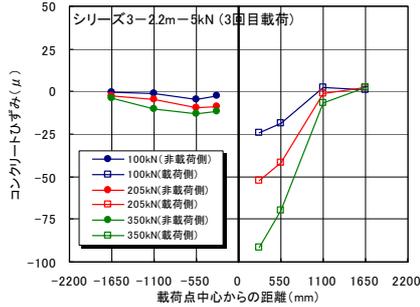
(3) シリーズ 3



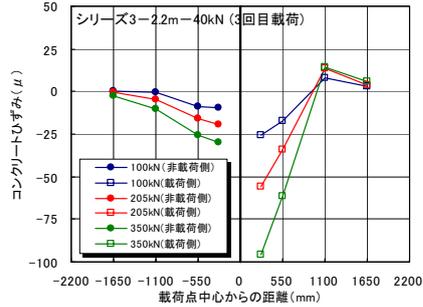
シリーズ 3-1.1m-5kN



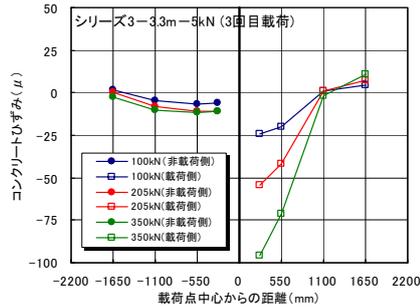
シリーズ 3-1.1m-40kN



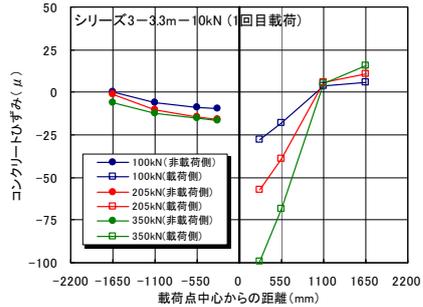
シリーズ 3-2.2m-5kN



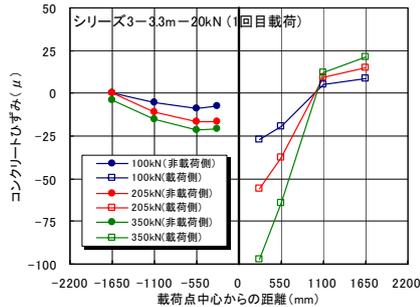
シリーズ 3-2.2m-40kN



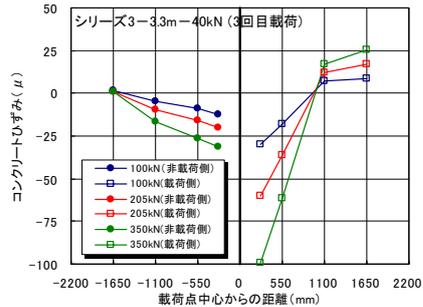
シリーズ 3-3.3m-5kN



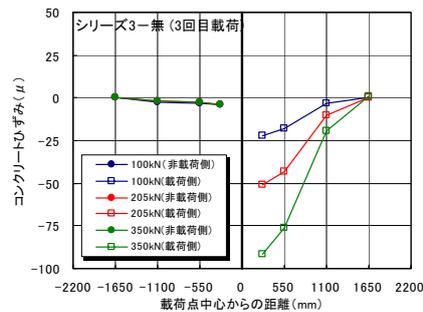
シリーズ 3-3.3m-10kN



シリーズ 3-3.3m-20kN

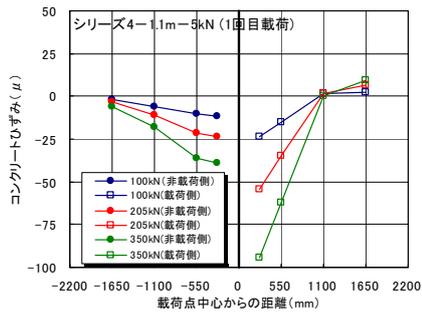


シリーズ 3-3.3m-40kN

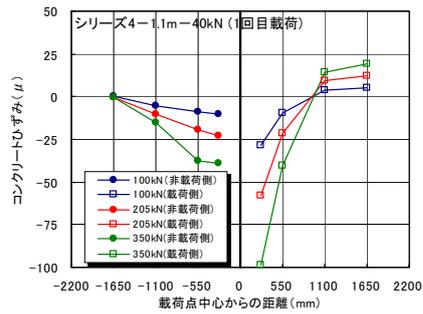


シリーズ 3-無

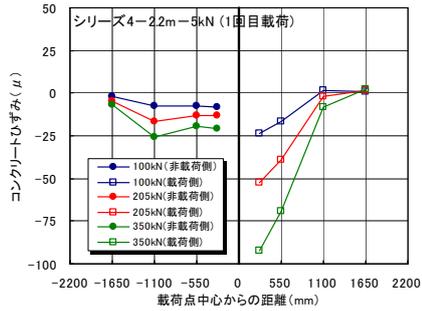
(4) シリーズ 4



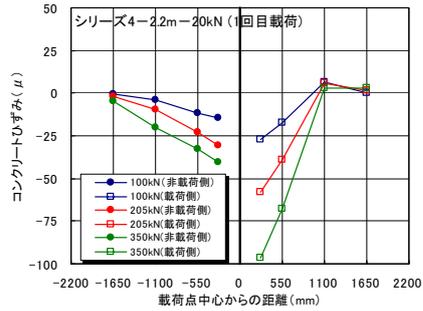
シリーズ 4-1.1m-5kN



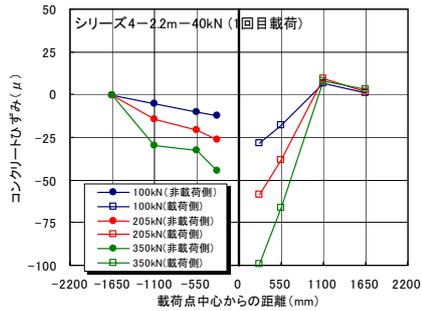
シリーズ 4-1.1m-40kN



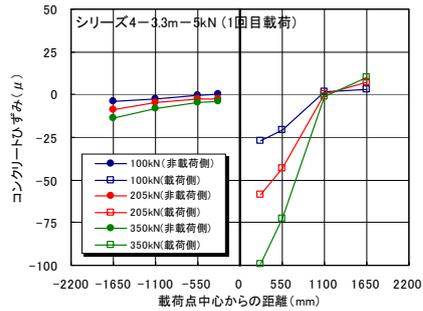
シリーズ 4-2.2m-5kN



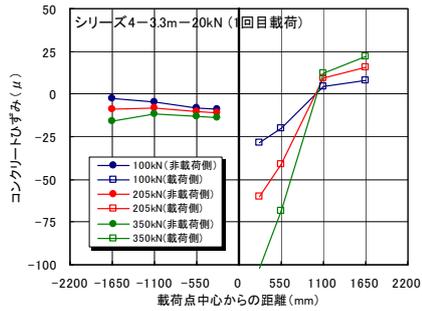
シリーズ 4-2.2m-20kN



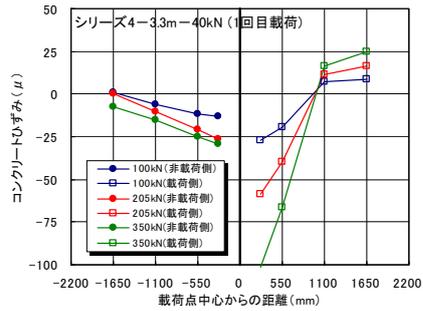
シリーズ 4-2.2m-40kN



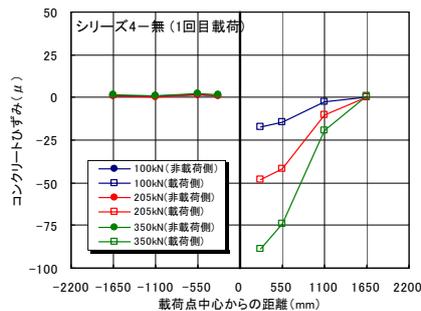
シリーズ 4-3.3m-5kN



シリーズ 4-3.3m-20kN



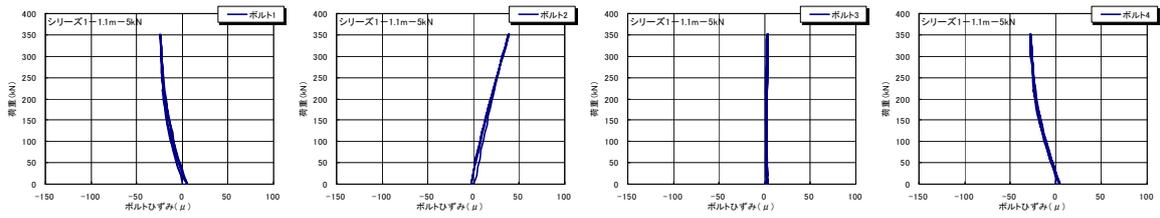
シリーズ 4-3.3m-40kN



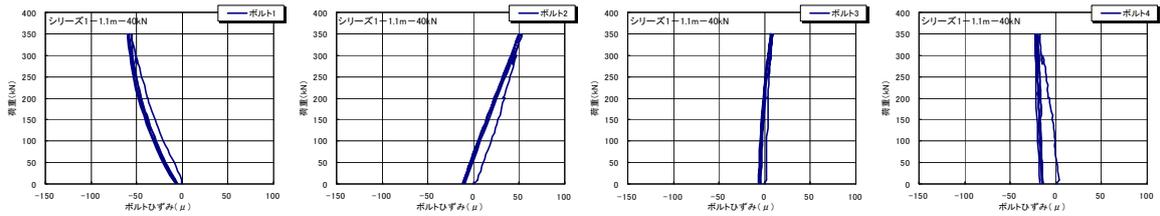
シリーズ 4-無

付録-13 荷重-PC版に締結したボルトひずみの関係

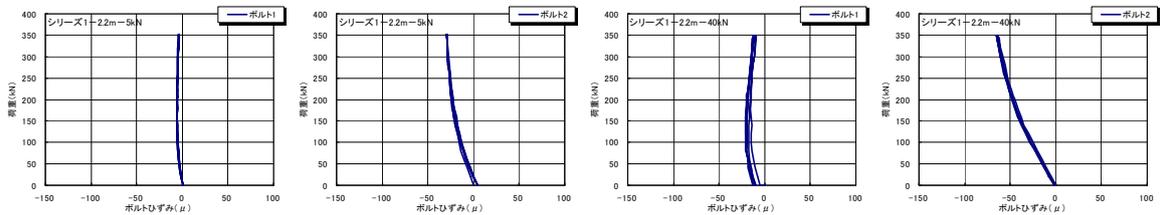
(1) シリーズ 1



シリーズ 1-1.1m-5kN

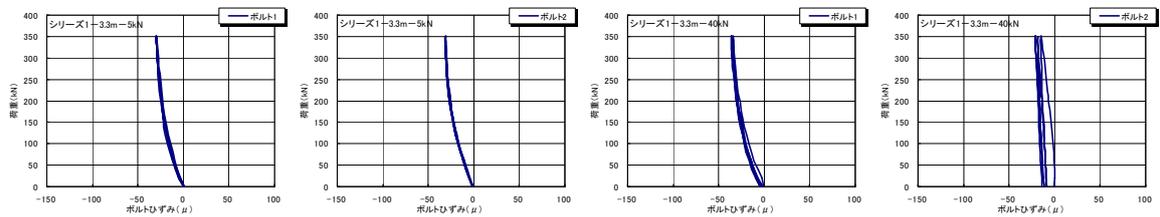


シリーズ 1-1.1m-40kN



シリーズ 1-2.2m-5kN

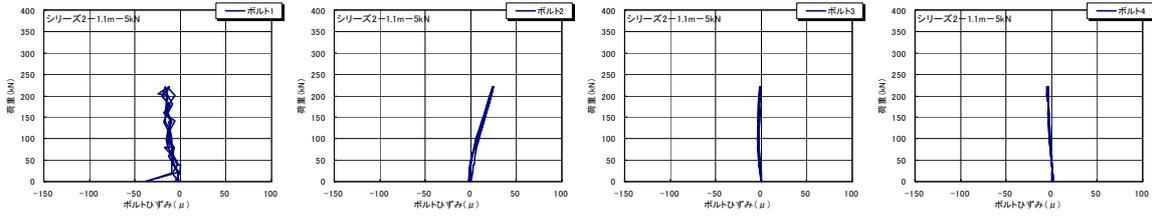
シリーズ 1-2.2m-40kN



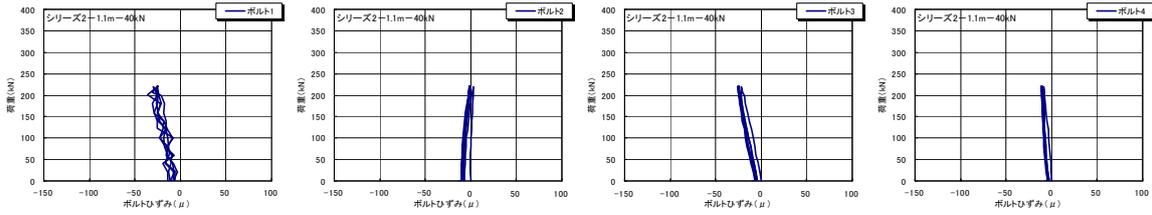
シリーズ 1-3.3m-5kN

シリーズ 1-3.3m-40kN

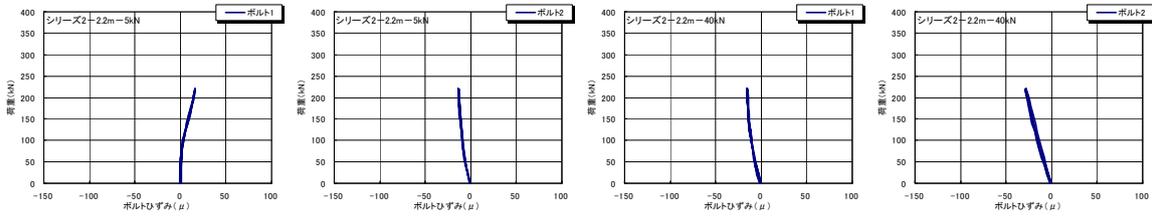
(2) シリーズ 2



シリーズ 2-1.1m-5kN

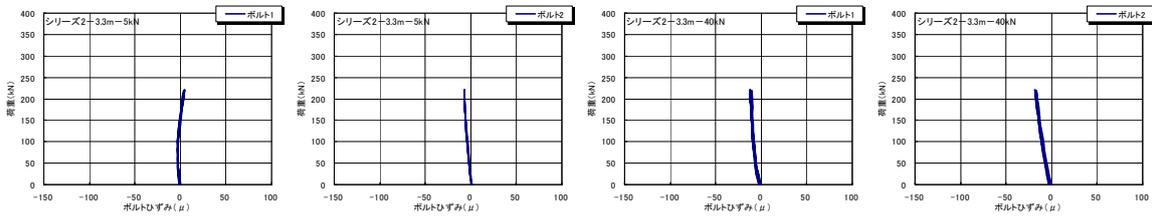


シリーズ 2-1.1m-40kN



シリーズ 2-2.2m-5kN

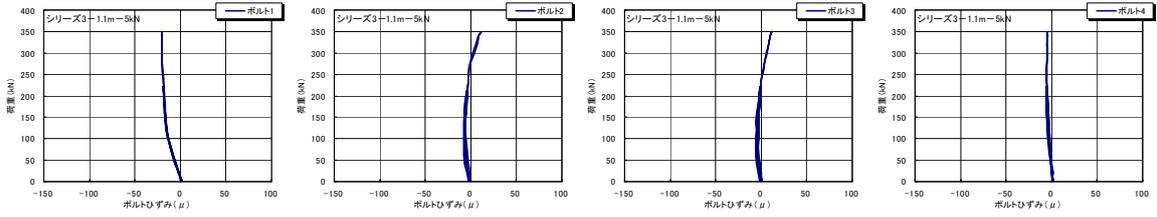
シリーズ 2-2.2m-40kN



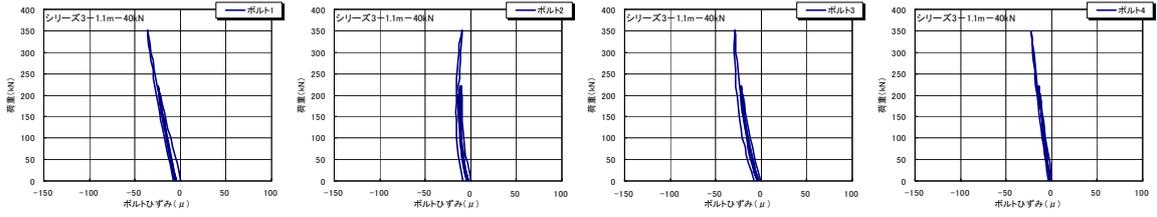
シリーズ 2-3.3m-5kN

シリーズ 2-3.3m-40kN

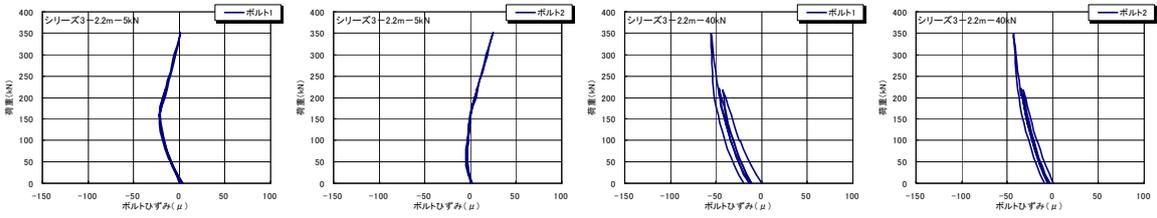
(3) シリーズ 3



シリーズ 3-1.1m-5kN

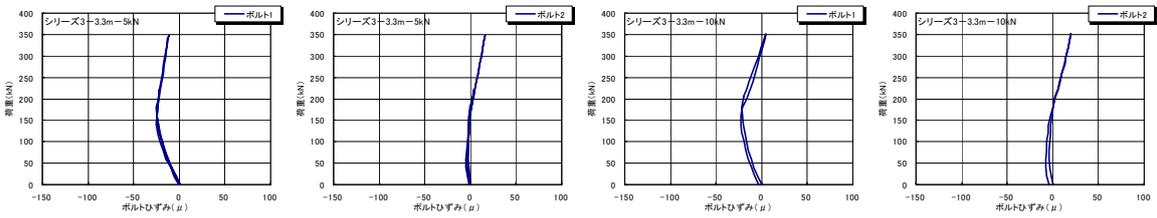


シリーズ 3-1.1m-40kN



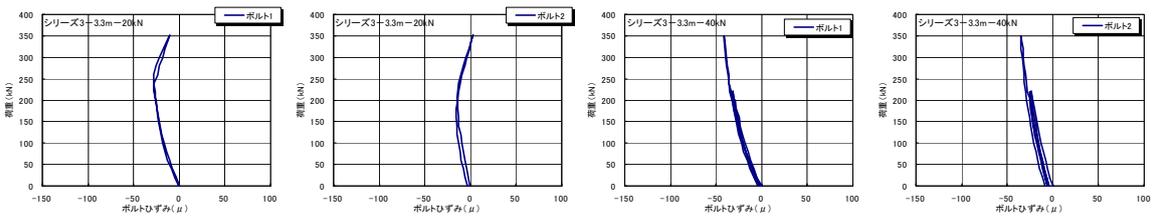
シリーズ 3-2.2m-5kN

シリーズ 3-2.2m-40kN



シリーズ 3-3.3m-5kN

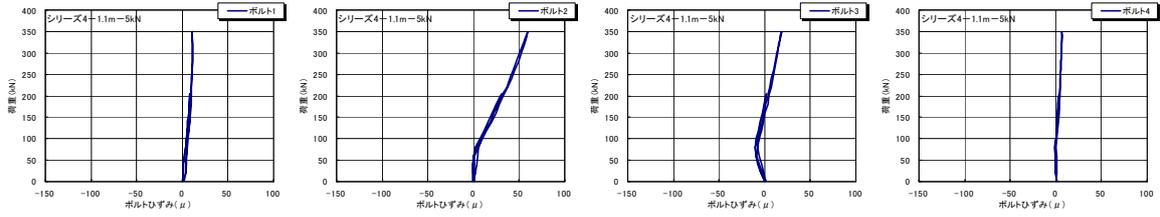
シリーズ 3-3.3m-10kN



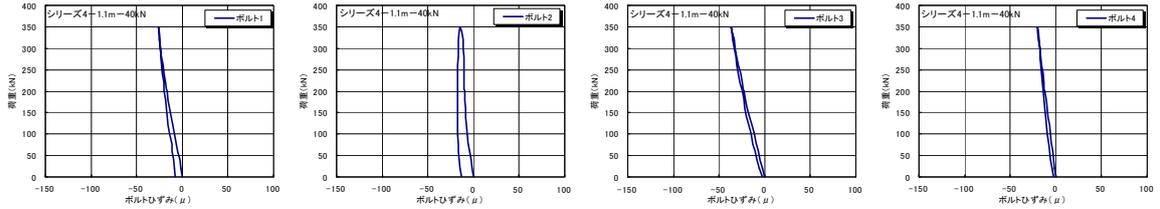
シリーズ 3-3.3m-20kN

シリーズ 3-3.3m-40kN

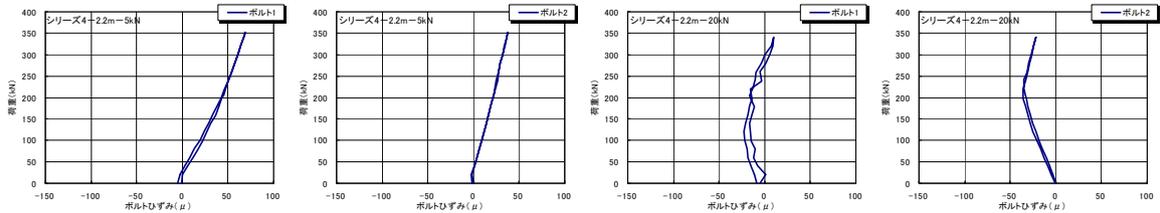
(4) シリーズ 4



シリーズ 4-1.1m-5kN

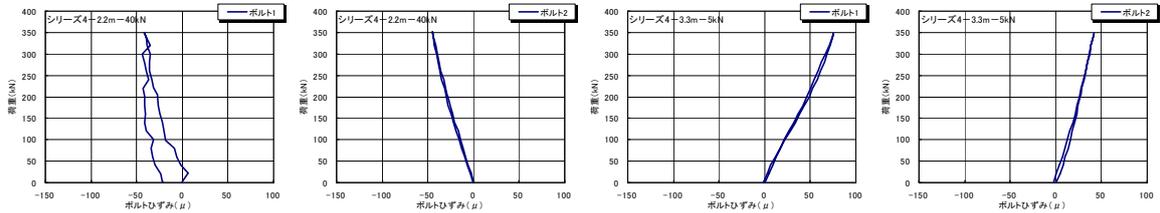


シリーズ 4-1.1m-40kN



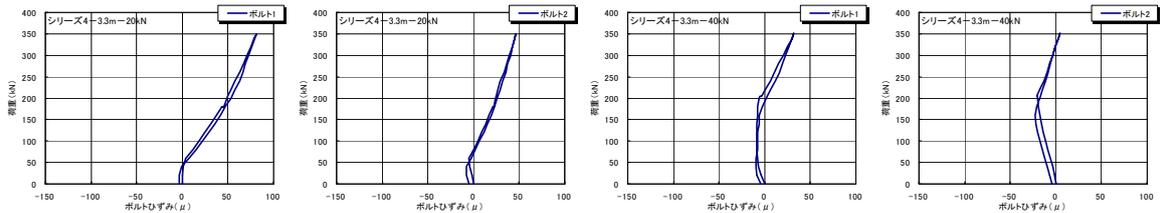
シリーズ 4-2.2m-5kN

シリーズ 4-2.2m-20kN



シリーズ 4-2.2m-40kN

シリーズ 4-3.3m-5kN



シリーズ 4-3.3m-20kN

シリーズ 4-3.3m-40kN

付録-14 静的載荷試験の状況写真



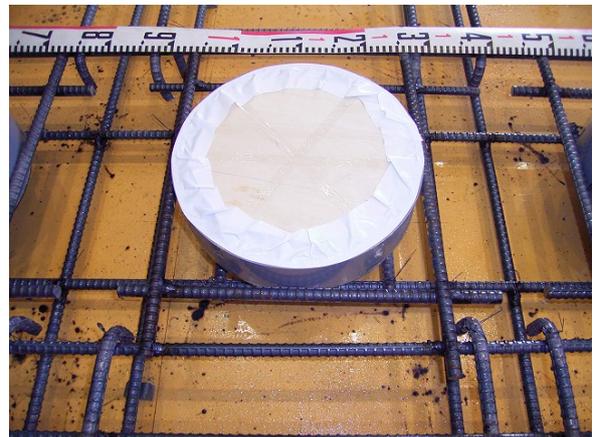
枕版配筋状況



緩衝版配筋状況



PC版配筋状況



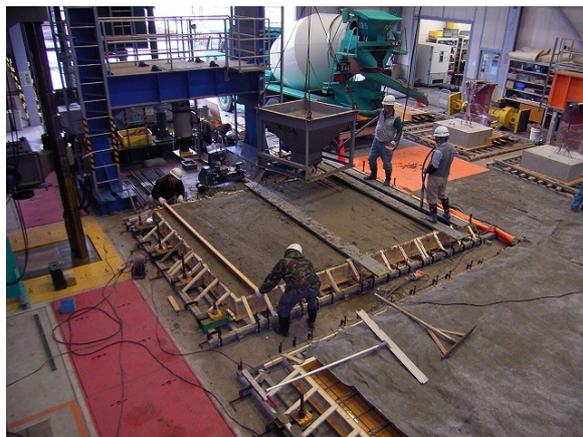
PC版切り欠き部の状況



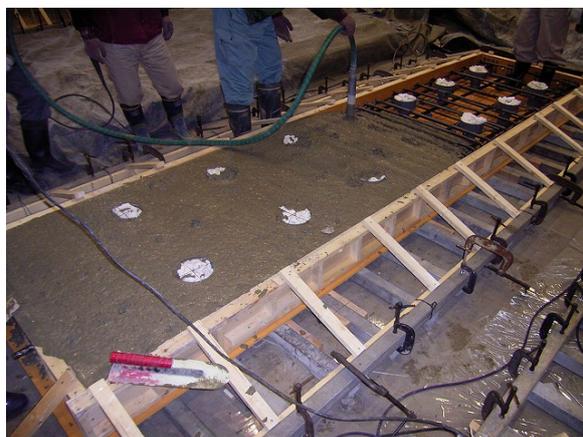
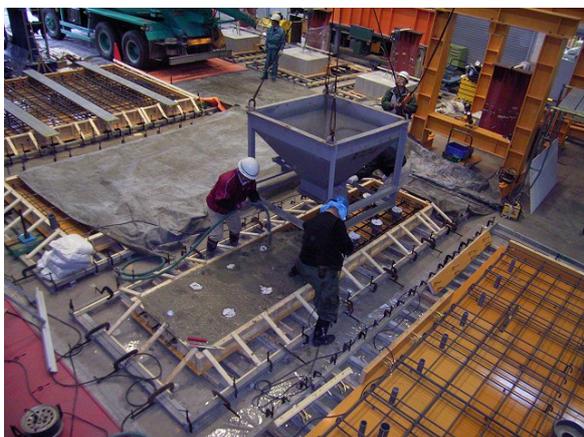
枕版・緩衝版コンクリートのフレッシュ性状試験



PC版コンクリートのフレッシュ性状試験



枕版のコンクリート打設状況



緩衝版のコンクリート打設状況



PC版のコンクリート打設状況



1層目発泡スチロール敷設状況



枕版の設置状況



緩衝版の設置状況



2層目発泡スチロール敷設状況



3, 4層目発泡スチロール敷設状況



PC版の設置状況

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 456

March 2008

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019