

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。

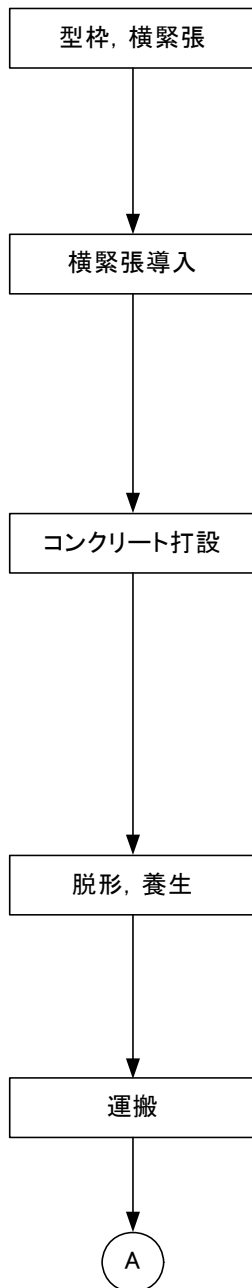
以下の手順により、PC 版を航空機荷重原型載荷実験槽建屋内に設置した。

- 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 版一枕版間ならびに緩衝版一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。

枕版, PC版, 緩衝版製作



型枠設置を行い, シースや鉄筋の配筋を行い, 鋼線を設置する.
枕版の場合, PC鋼線 $\phi 12.7\text{mm}$ を24本で, 1本当たり130.7kN, 合計3190kNの
緊張を導入する. (緊張装置は最大3500kN, ストローク700mm)



コンクリート打設後, テストピースで
 $\sigma_c = 28\text{N/mm}^2$ 以上を確認した後に, 型
枠からの脱型を行う.



型枠脱型後, 1週間養生し, 吊り金具を用いて積み込み, 運搬を行う.

図-81 PC版の製作と運搬の作業フロー

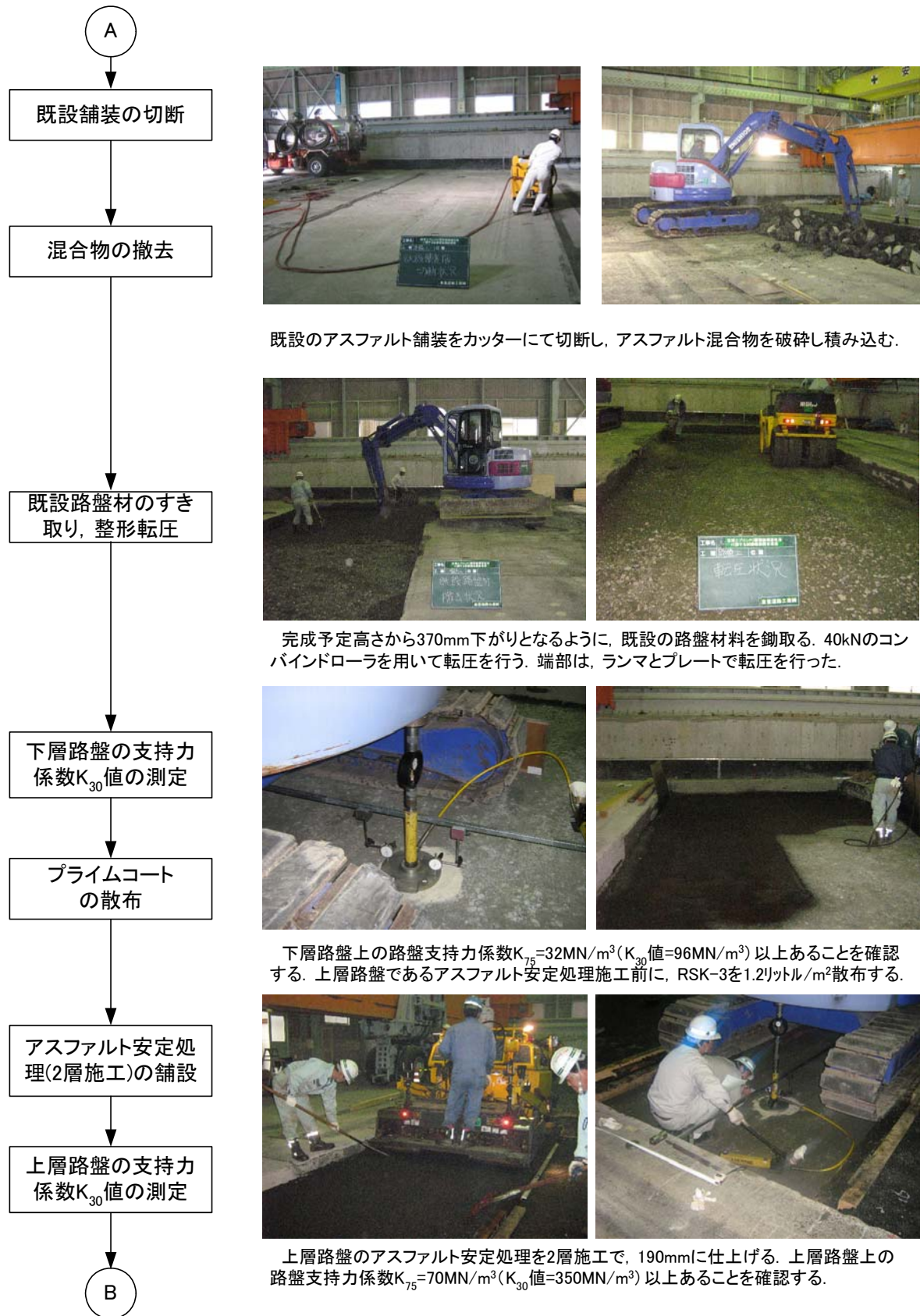


図-82 既設舗装の開削及び路盤工の作業フロー



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

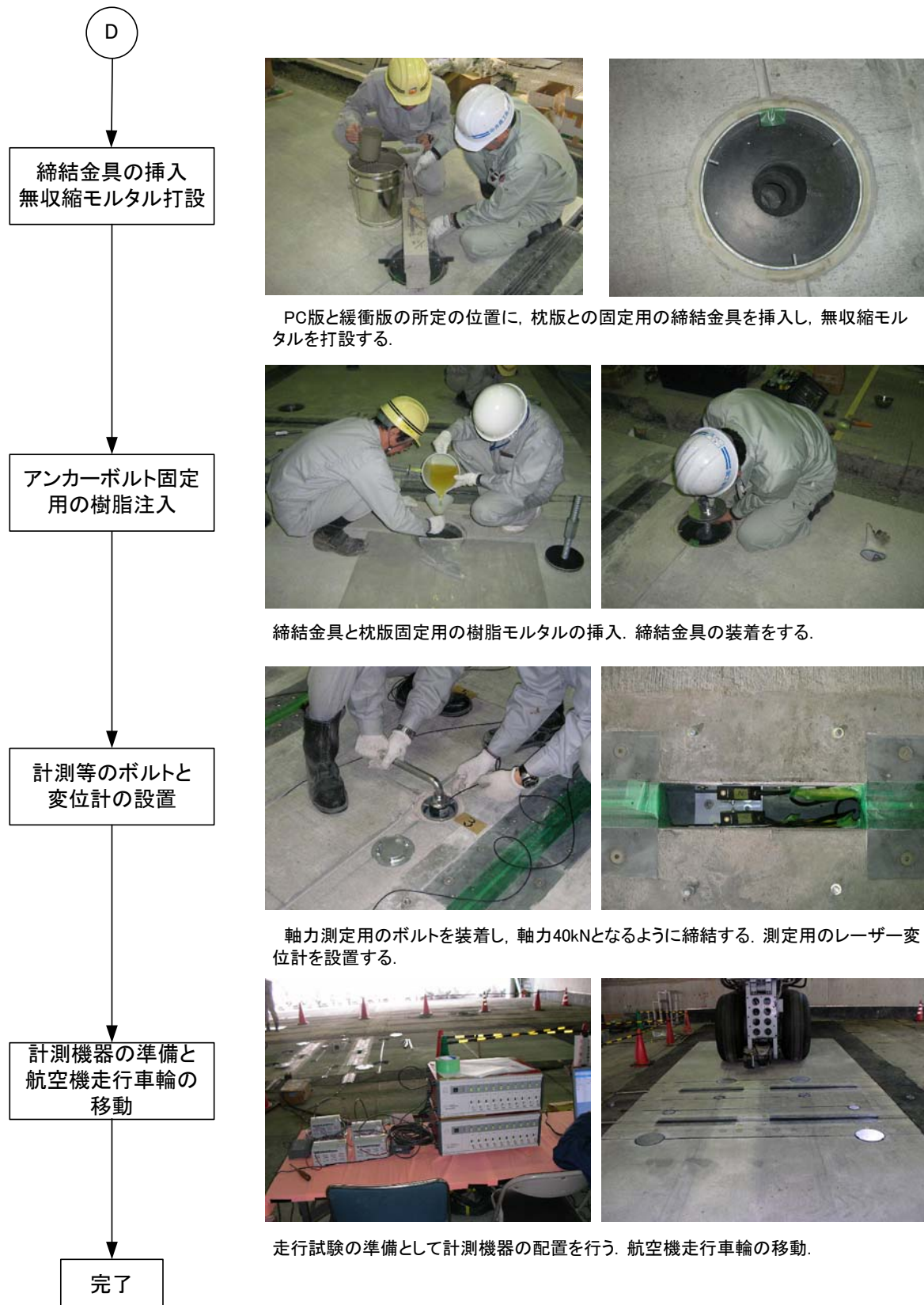


図-85 締結金具の設置及び走行載荷試験の準備 作業フロー

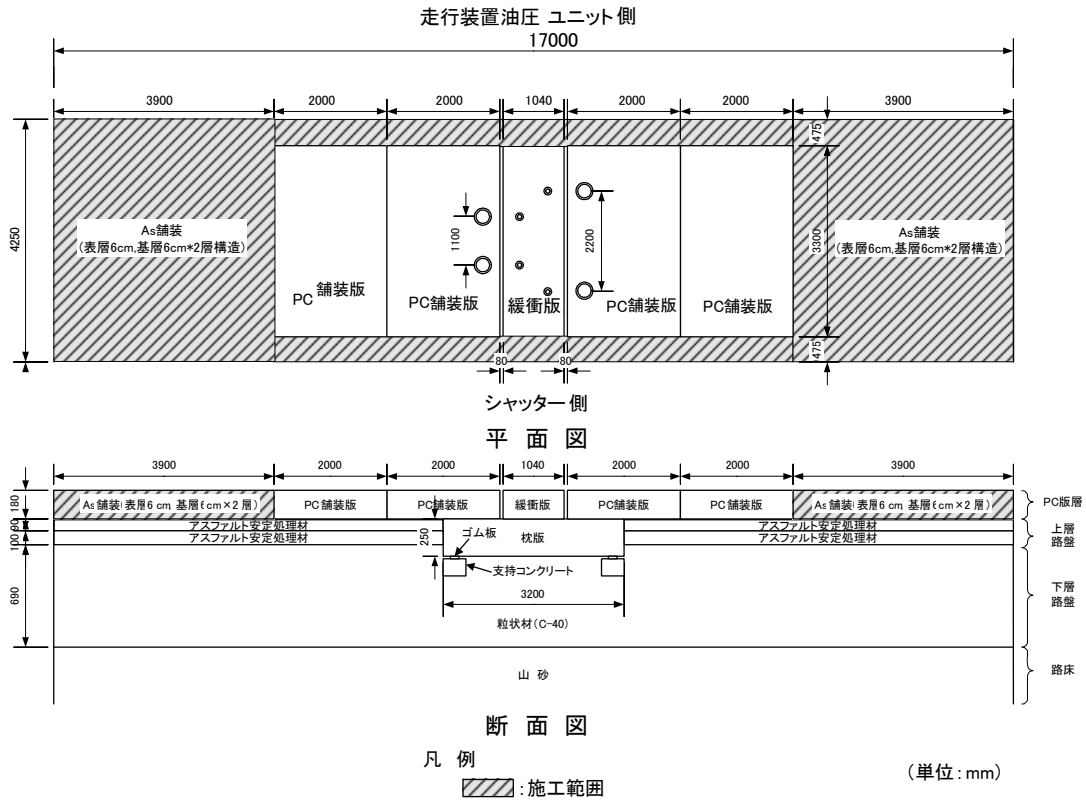


図-86 枕版, 緩衝版, PC 版設置の施工図

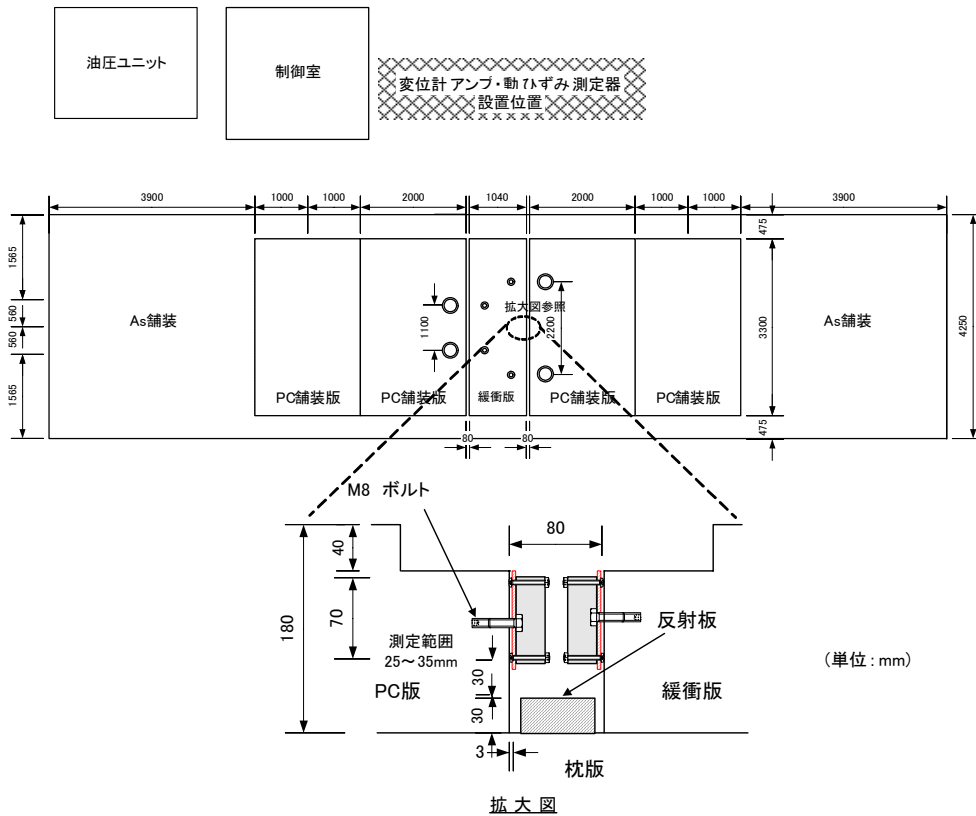


図-5 PC 版等の相対変位を測定するレーザー変位計の設置位置図

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.

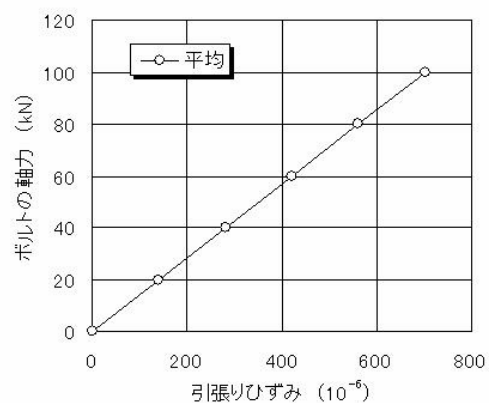


図-88 ボルトゲージの状況と荷重とひずみの較正結果

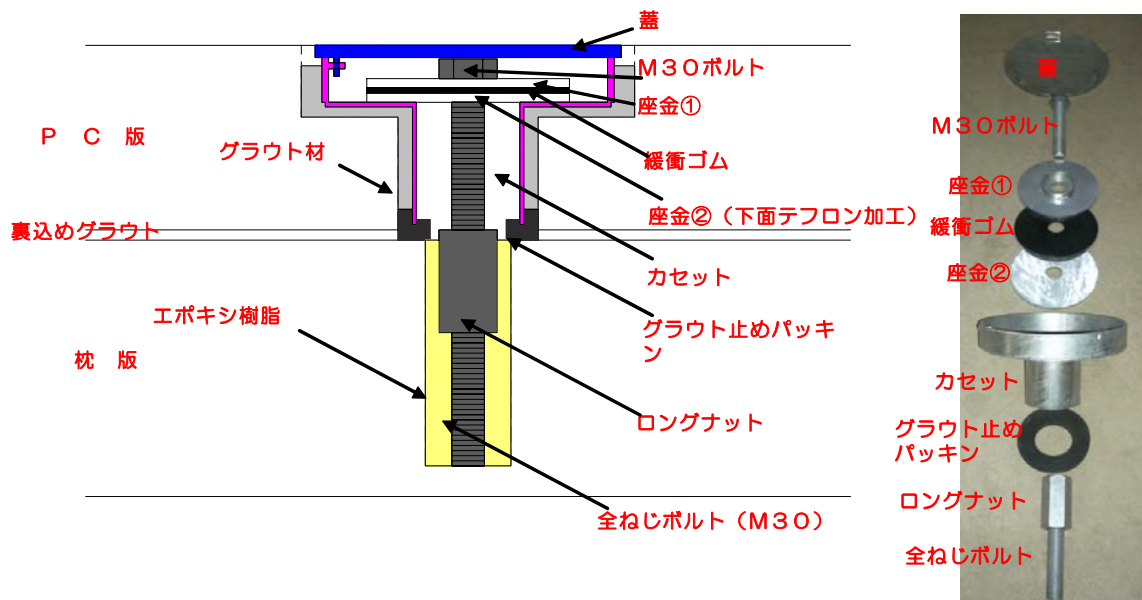


図-89 PC版と枕版の締結装置

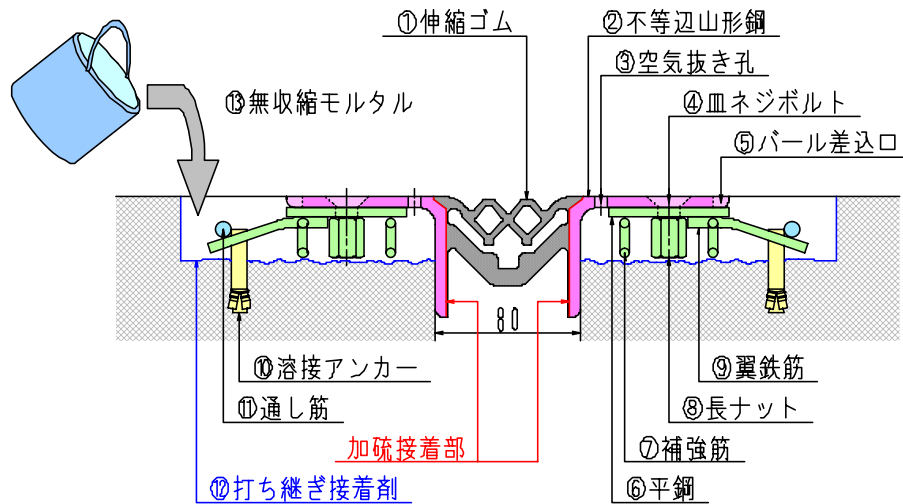


図-90 目地構造の概略図

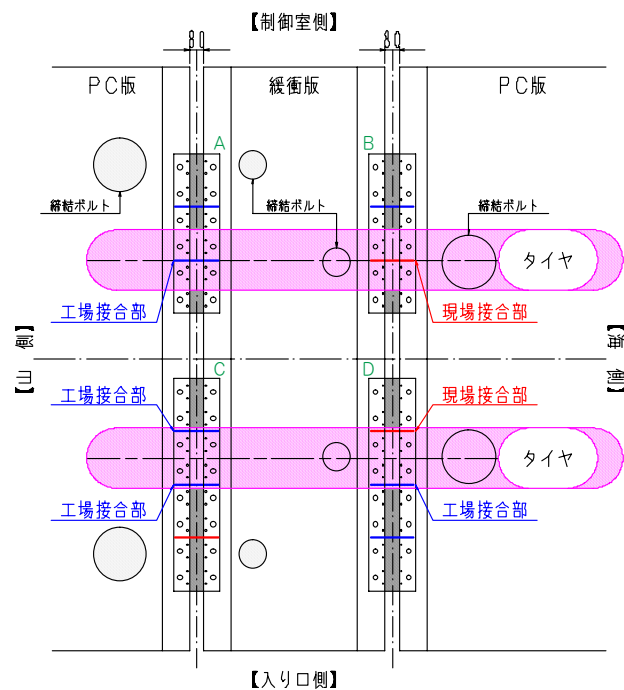


図-91 目地構造の設置位置と航空機タイヤ走行位置の関係

(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。測量の測定位置を図-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

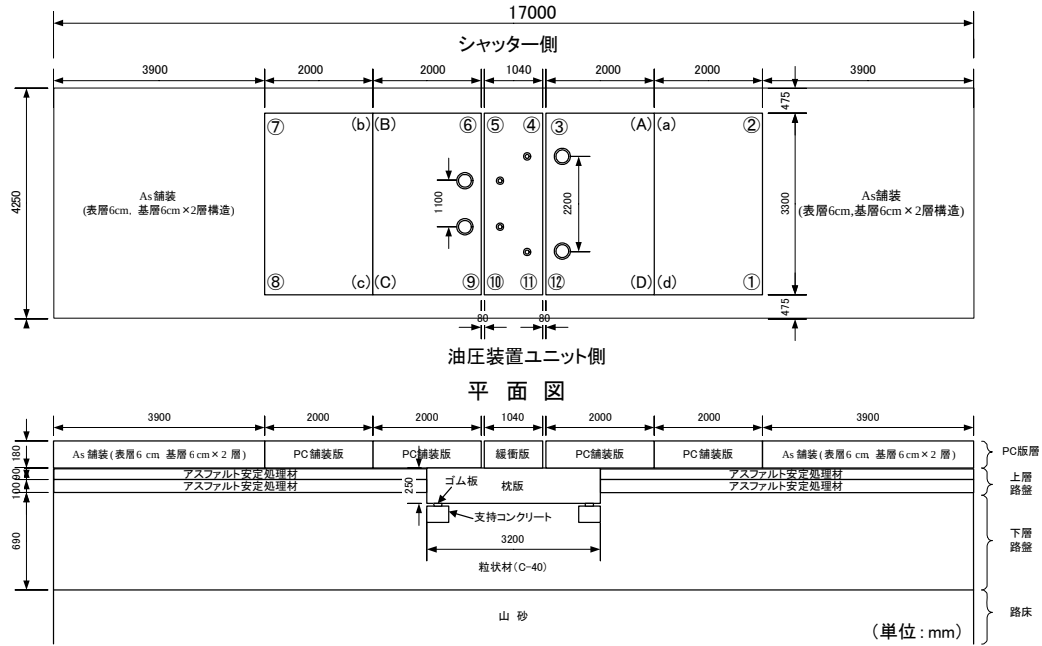


図-92 測量位置図

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

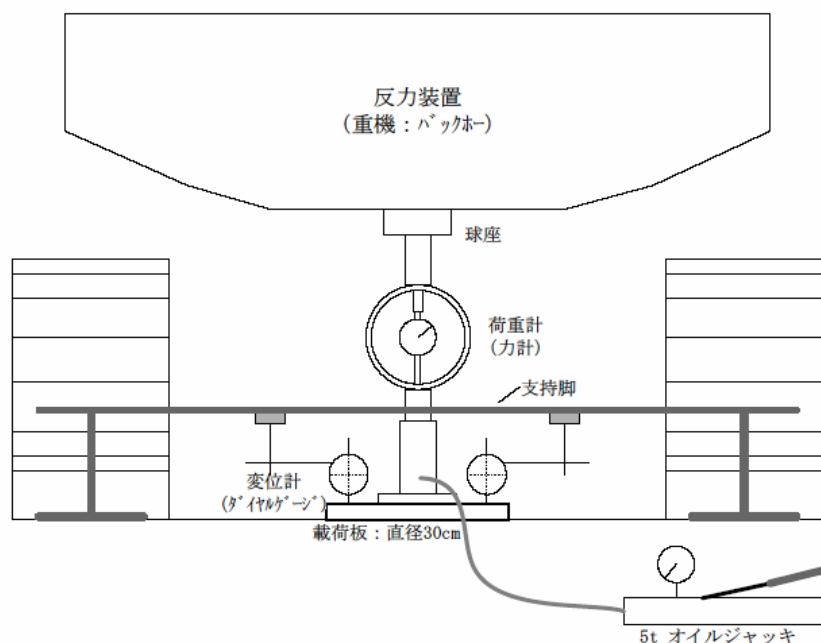


図-93 載荷計測装置概略図

表-42 載荷計測装置機器一覧表

名称項目	仕 様	数量
荷重計	フルビシリング® (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1/100mm・ストローク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で所要の反力が得られるようにする。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	

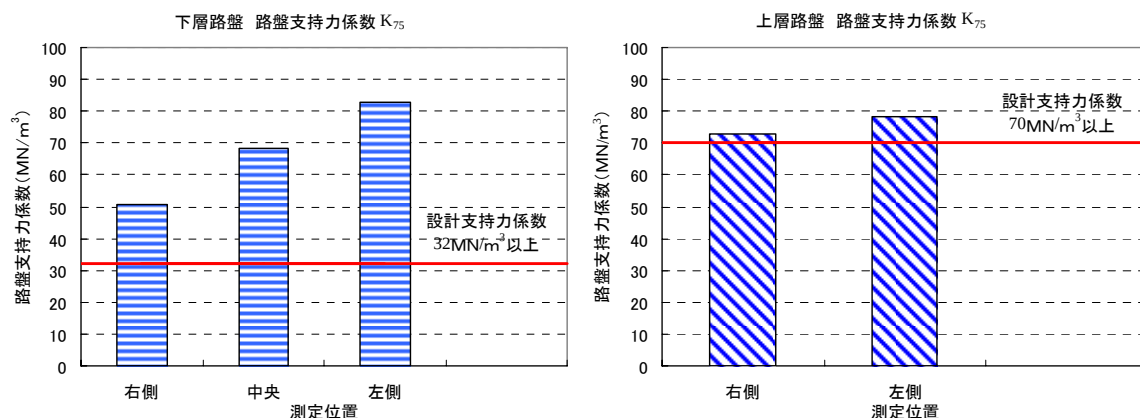


図-94 各路盤上の K_{30} から換算した路盤支持力係数 K_{75} の比較

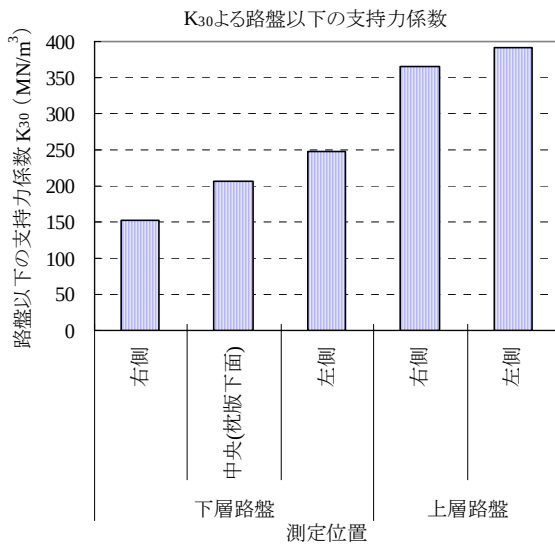


図-95 K₃₀による路盤以下の支持力係数

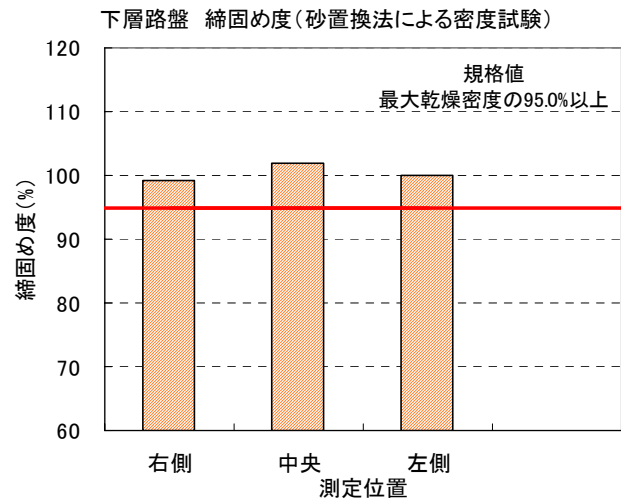


図-96 下層路盤(切込み砕石)の締固め度

(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($t=18\text{cm}$)1枚、PC版($t=18\text{cm}$)4枚、枕版($t=25\text{cm}$)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/mm^2 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、シースにグラウトを流し込んで定着を行った。

PC版にはPC鋼棒 $\phi 26\text{mm}$ 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/mm^2 以上、目標値で 66N/mm^2 である。枕版にはPC鋼棒 $\phi 32\text{mm}$ 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/mm^2 以上、目標値で 54N/mm^2 である。

緊張の固定用にシース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。

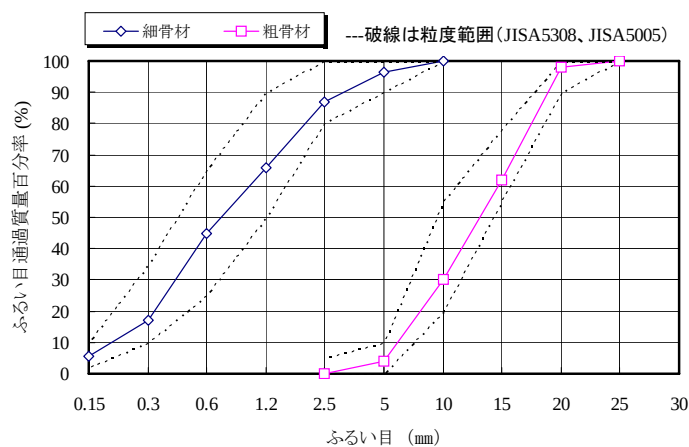
裏込注入グラウト材は、ジェットグラウト系は水材料比50-80%が一般的に使われているが、ここで使用したグラウト注入材は超早硬セメント系を使用しているため水が少なく、早期の強度が高い。

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)	スラップ 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)			スラップ (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	

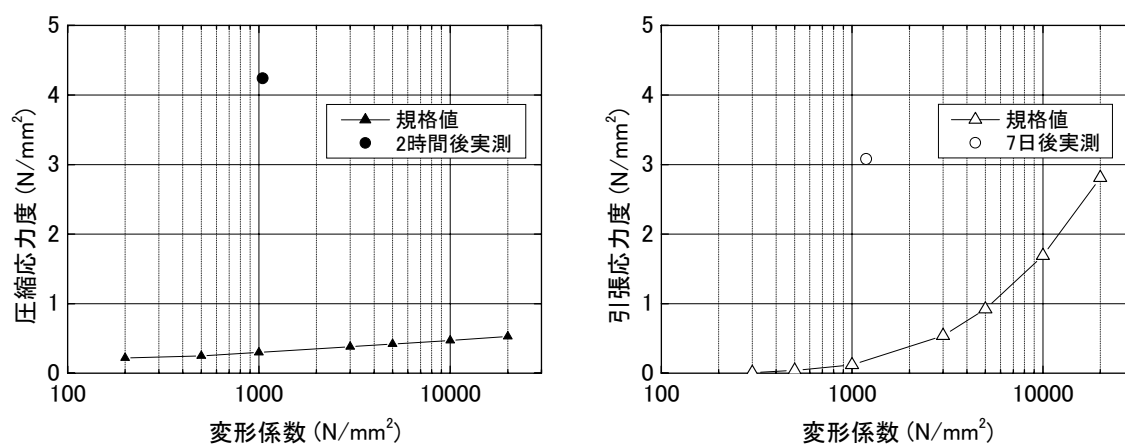


図-98 裏込グラウトの圧縮応力度，引張応力度，変形係数

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。

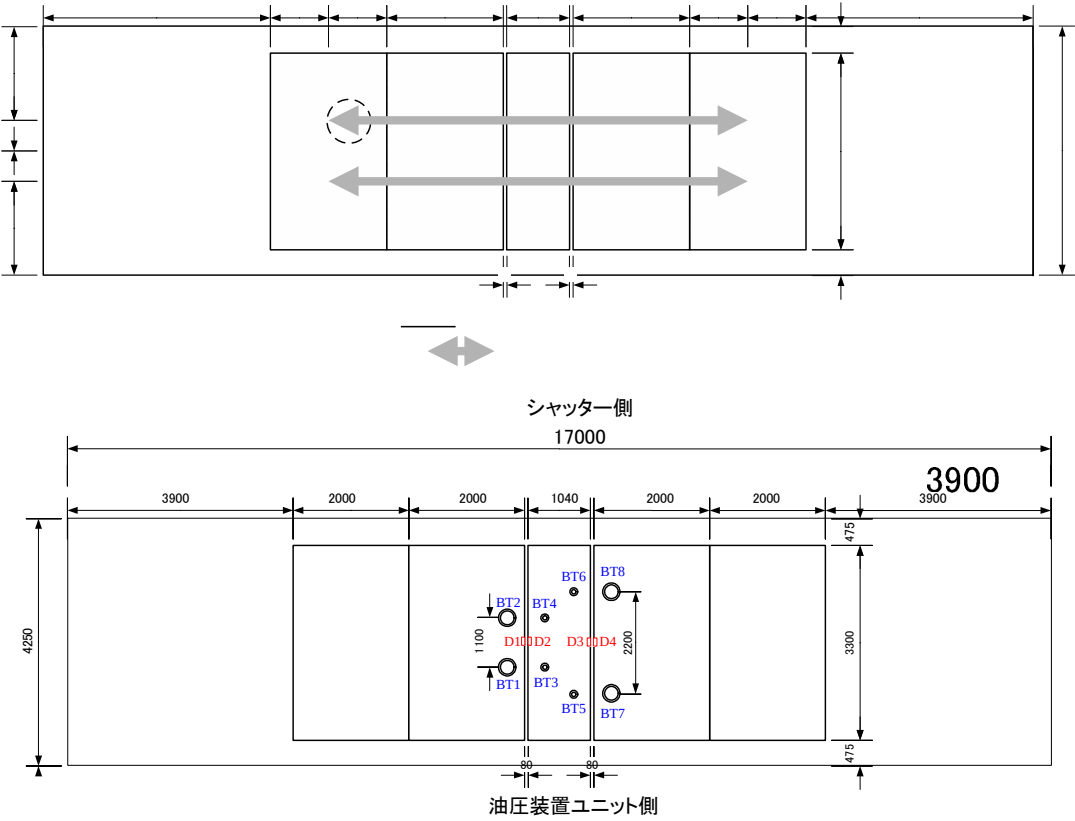


図-99 走行載荷試験の走行位置図とセンサー設置位置

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

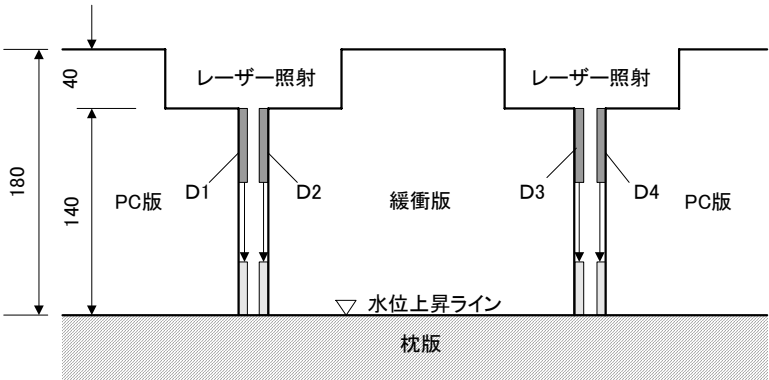


図-100 条件 3、条件 4 における地下水位設定

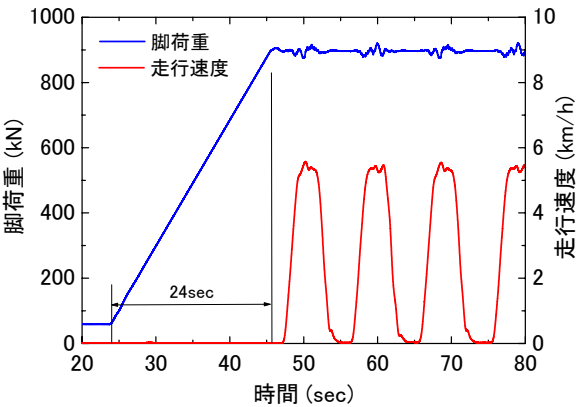
As舗装

表-53 相対変位と締結ボルトのひずみ計測時期

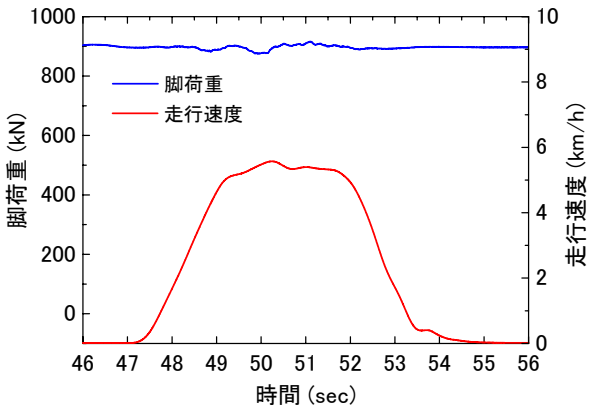
条件	計測時期
ケース 1	0-50, 450-500, 950-1000, 1950-2000, 2950-3000
ケース 2	0-50 (ボルトを締結していないため、変位計測のみ)
ケース 3	0-50, 450-500, 950-1000
ケース 4	0-50, 50-100, 150-200, 350-400, 550-600, 750-800, 950-1000 (ボルトを締結していないため、変位計測のみ)



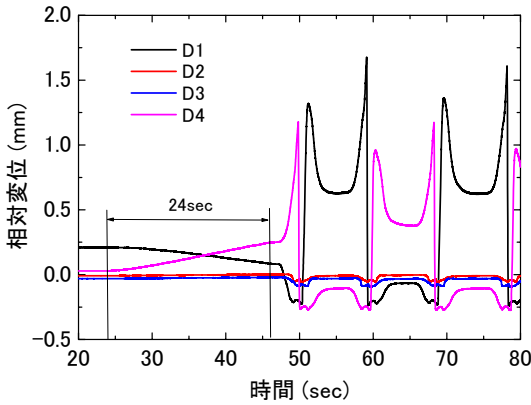
写真-24 レーザー変位計の設置状況



(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。

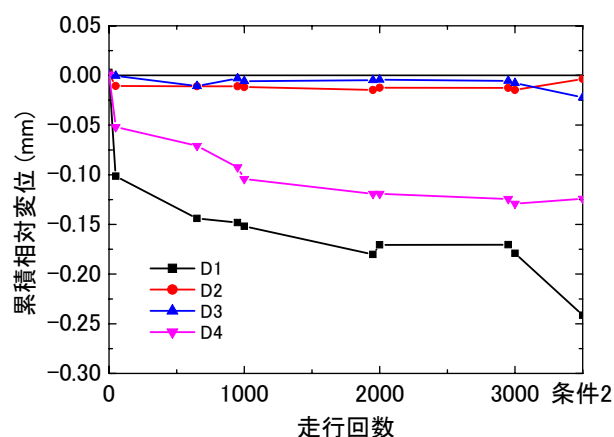


図-102 累積相対変位と走行回数の関係 (条件 1, 条件 2)

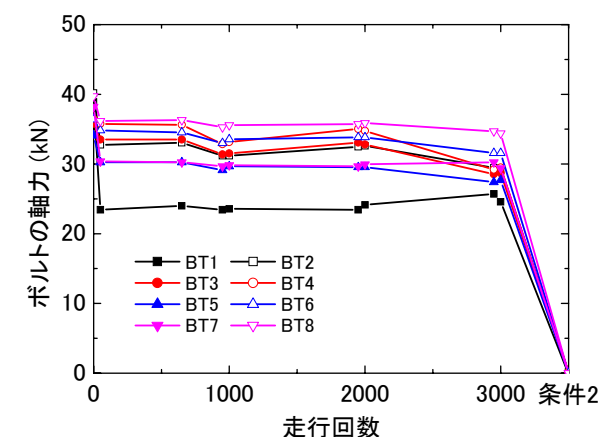


図-103 ボルトの軸力と走行回数の関係 (条件 1, 条件 2)

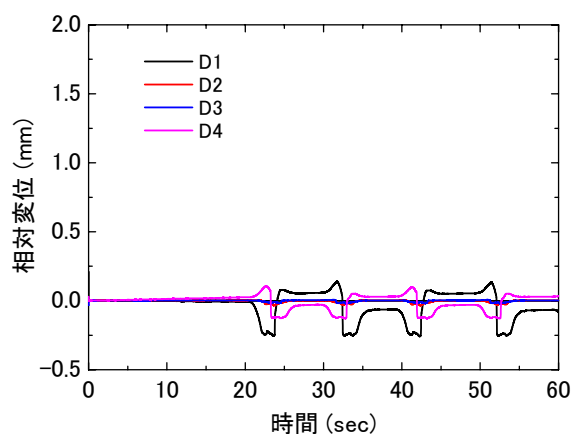
b) タイヤ走行前後の動的変動

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。

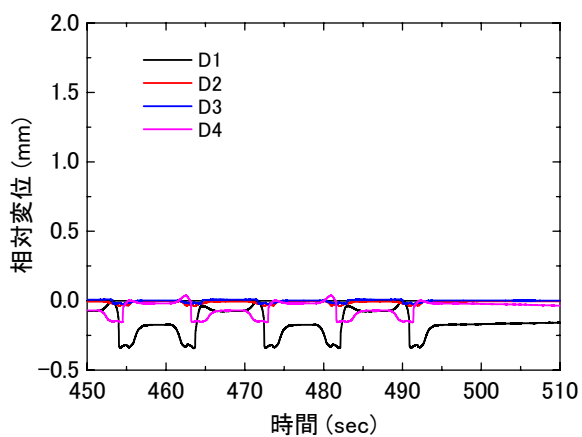
条件 1 におけるタイヤ走行前後のボルトの軸力を図-106 に示す。ボルトの軸力は前述の相対変位と関係しており、相対変位が負の場合にボルトの軸力は減少し、相対変位が正の場合にボルトの軸力は増加する。ボルトの軸力については、走行開始直後には前項の理由により初期値 (およそ 40kN) から減少するものの、その後についてはほぼ一定の値となっている。

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。

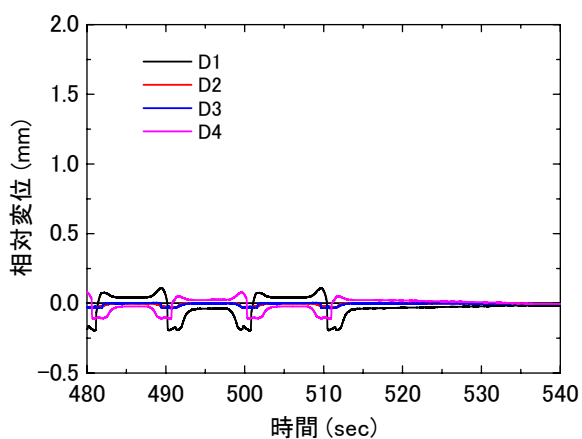
以上の結果から、ボルト締結の有無による差は明らかであり、ボルトを締結することにより、PC 版と枕版との相対変位を減少させることが可能であるといえる。



(a) 走行開始直後

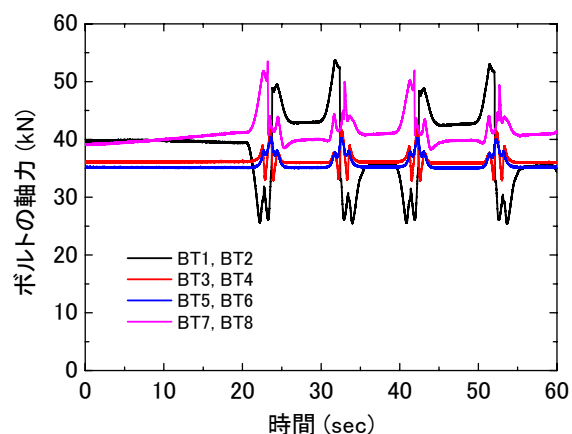


(b) 走行 1000 回頃

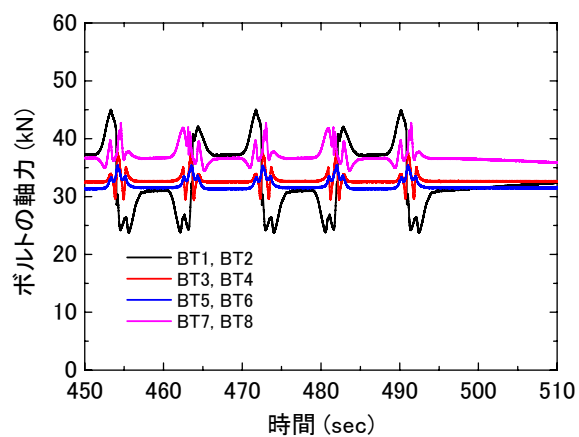


(c) 走行 3000 回頃

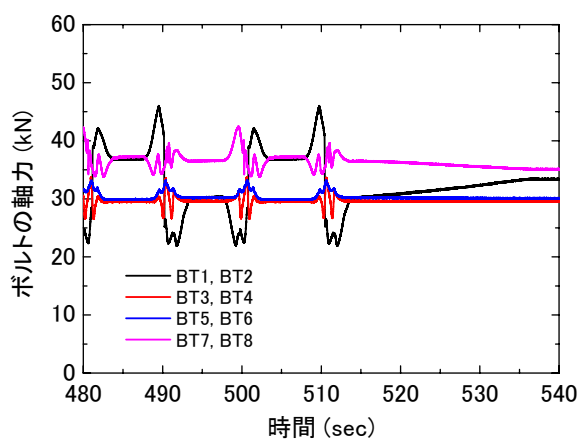
図-105 相対変位の時刻歴変化 (条件 1)



(a) 走行開始直後



(b) 走行 1000 回頃



(c) 走行 3000 回頃

図-106 ボルトの軸力の時刻歴変化 (条件 1)

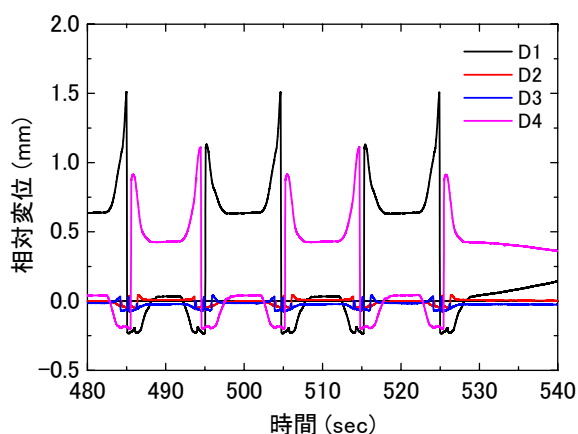


図-107 相対変位の時刻歴変化 (条件 2)

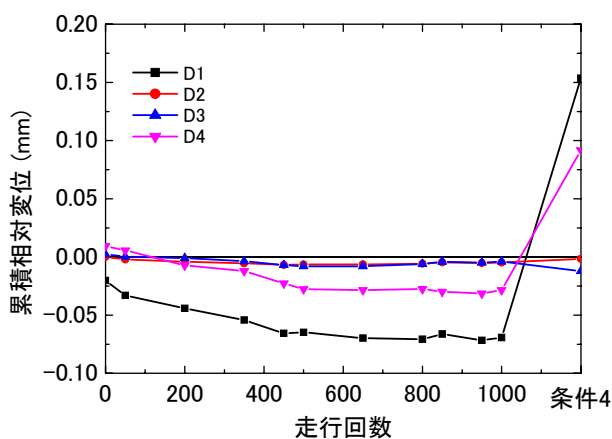


図-108 累積相対変位と走行回数の関係 (条件 3, 条件 4)

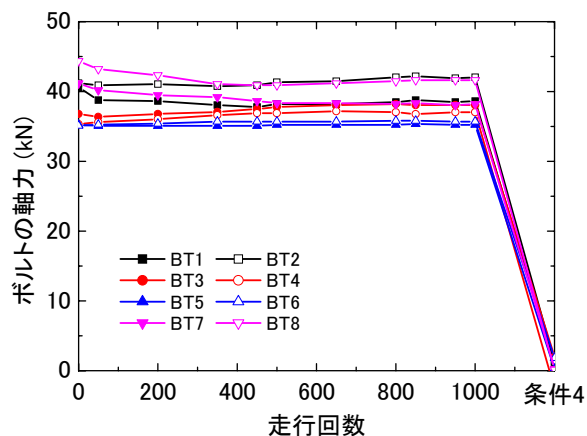


図-109 ボルトの軸力と走行回数の関係 (条件 3, 条件 4)

(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 の走行載荷試験を実施した。

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）と走行回数の関係を図-108 に、ボルトの軸力と走行回数の関係を図-109 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。

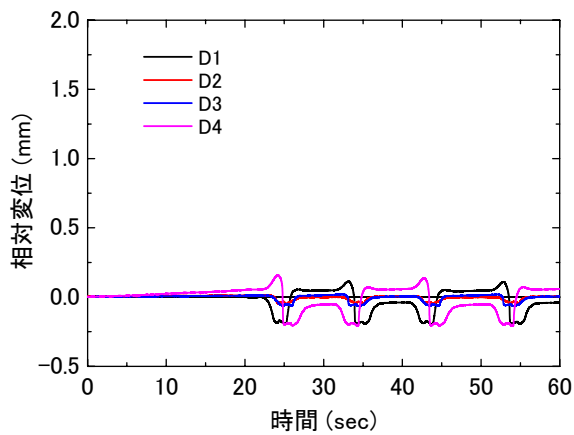
以上のことから、ボルト締結による効果は、水浸条件下においても有効であるといえる。

b) タイヤ走行前後の動的変動

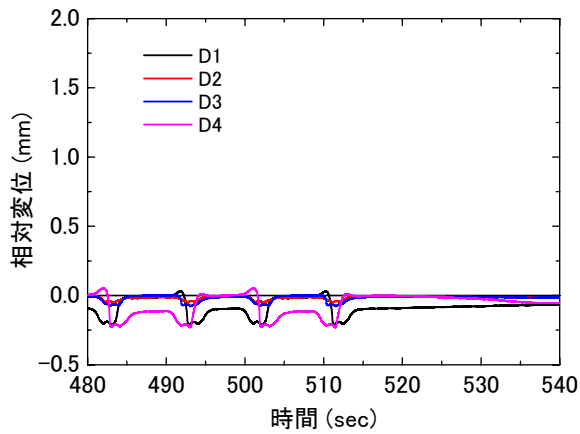
条件 3 におけるタイヤ走行前後の PC 版－枕版間および緩衝版－枕版間の相対変位（PC 版および緩衝版が枕版から離れる方向が正）を図-110 に示す。条件 1 の場合と同様に、タイヤは図-99 の左端から走行を開始し、目地部を通過するたびに、PC 版側に設置されている変位計 D1 における変位は最初に負（PC 版が枕版に押し付けられる方向）となり、タイヤが PC 版から緩衝版へ移動する際に正（PC 版と枕版が離れる方向）となる。また、これとは反対側の PC 版に設置されている変位計 D4 における変位は、D1 とは正負反対の挙動を示す。一方、緩衝版に設置されている変位計 D2 および D3 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。

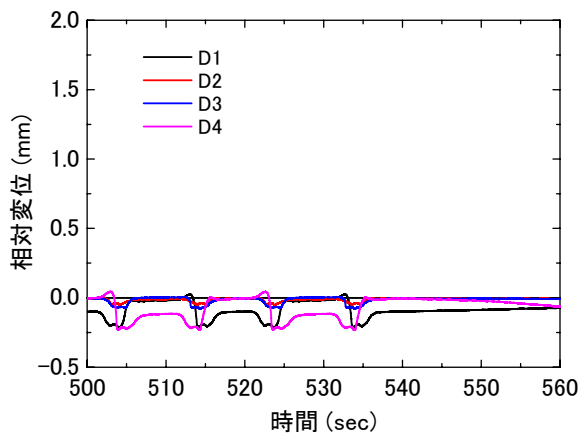
図-112 に、条件 4 における相対変位を示す。条件 4 ではボルト締結がされていないため、条件 3 と比較して相対変位が大きくなっており、同じくボルト締結を行わなかった条件 2 と比べても、相対変位は大きくなっている。以上の結果から、ボルト締結の有無による差は明らかであり、ボルト締結を行っている場合には、地下水位が高いことによる影響がほとんど無いものの、ボルト締結を行っていない場合には、地下水位が無い場合と比較して相対変位が大きくなっていることがわかる。



(a) 走行開始直後

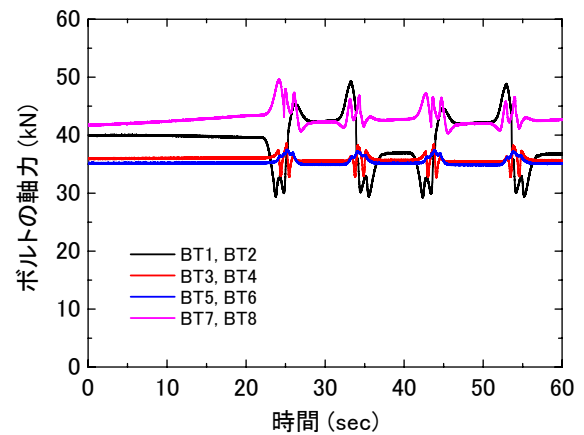


(b) 走行 500 回頃

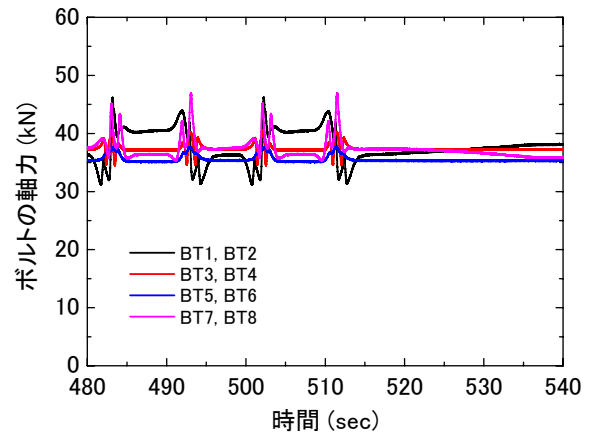


(c) 走行 1000 回頃

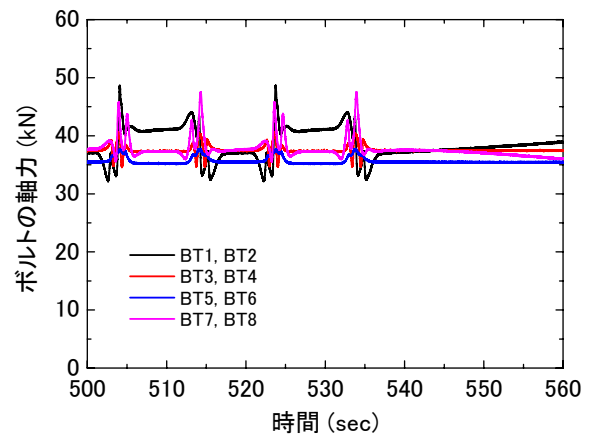
図-110 相対変位の時刻歴変化 (条件 3)



(a) 走行開始直後

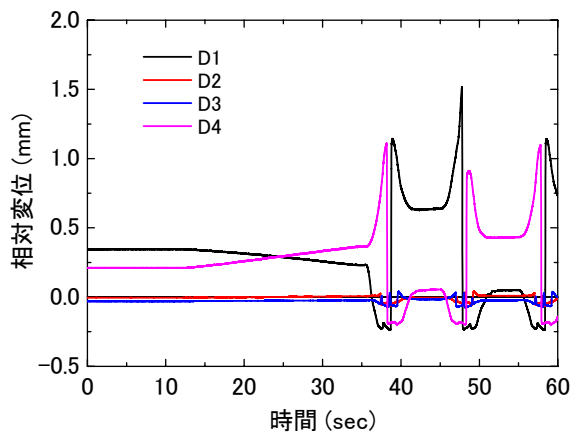


(b) 走行 500 回頃

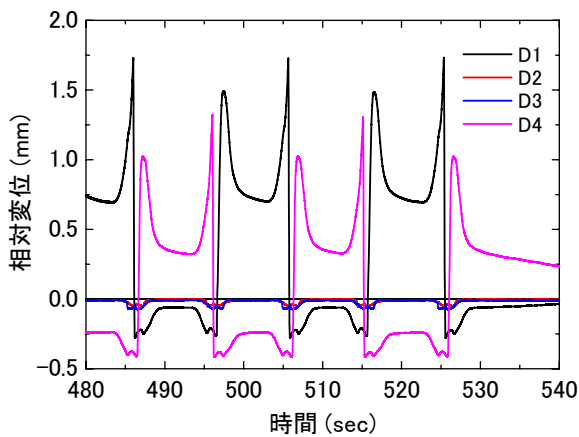


(c) 走行 1000 回頃

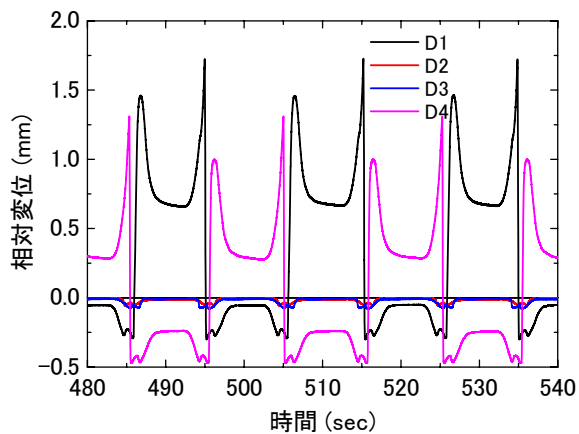
図-111 ボルトの軸力の時刻歴変化 (条件 3)



(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)

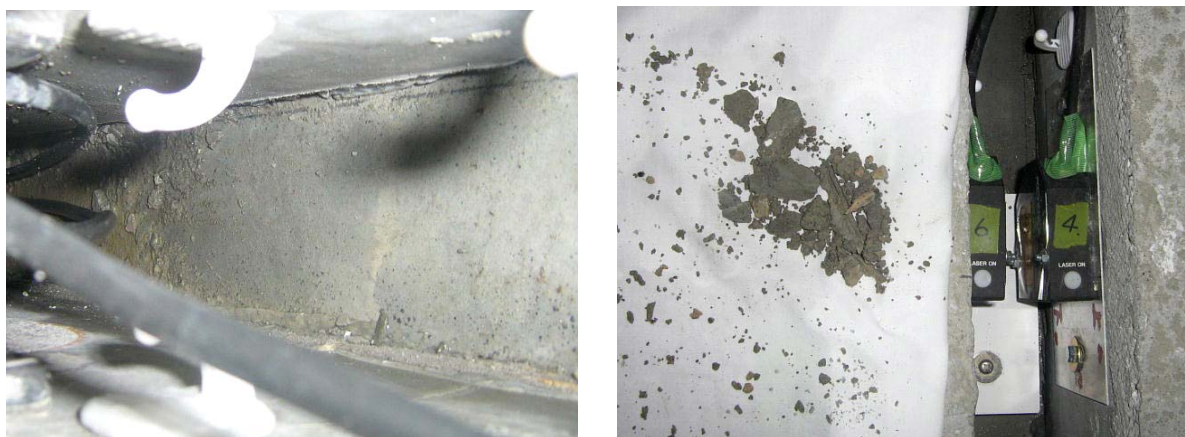
c) ポンピング現象の確認

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では、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。

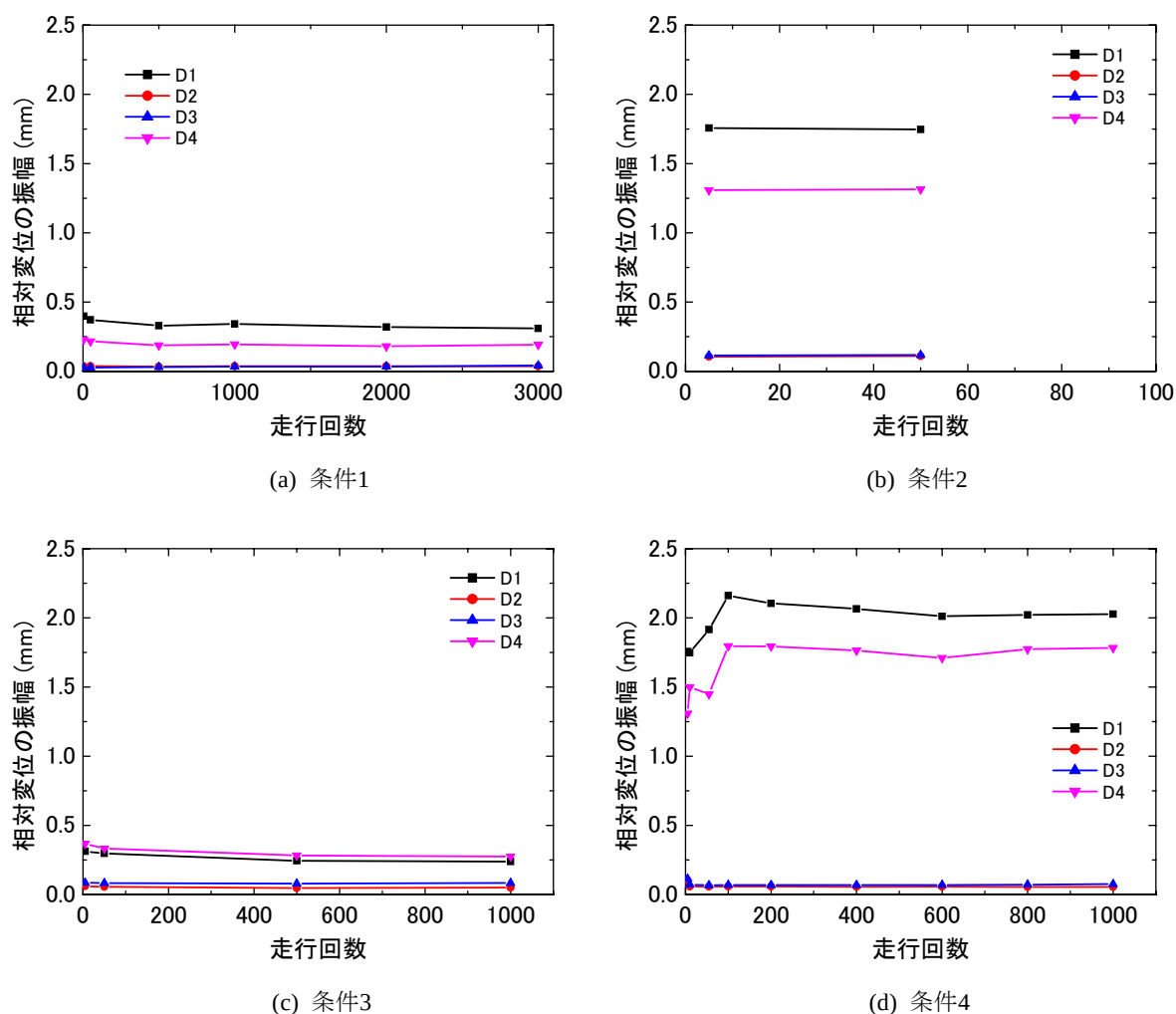


図-113 PC版－枕版間，緩衝版－枕版間の相対変位の振幅

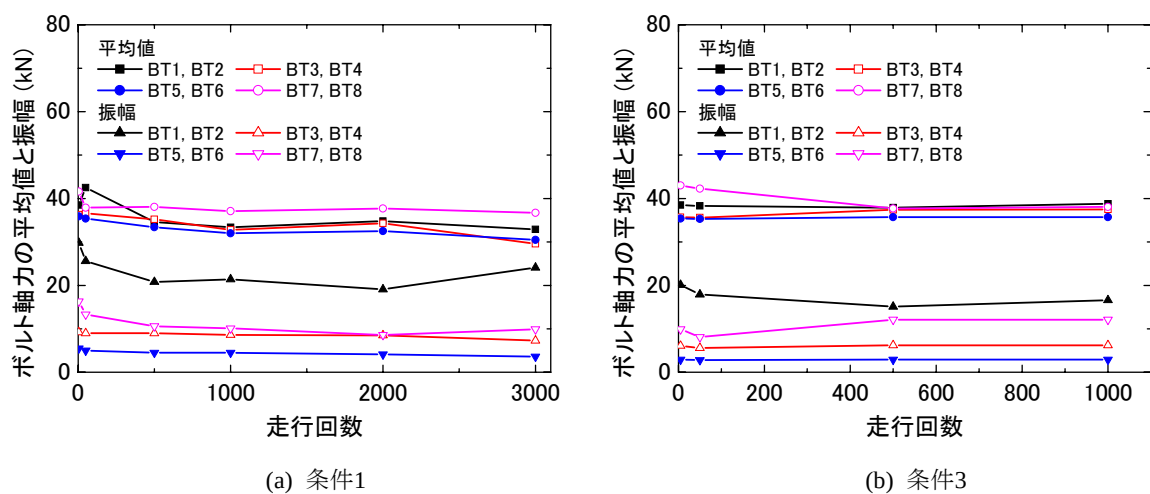


図-114 締結ボルト軸力の平均値と振幅

(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のようになる.

- 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ことが原因で, 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.