

道路構造物の津波被害メカニズムの解明及び

要求性能に関する調査検討

Study on the Damage Mechanism and Performance Requirement
for Highway Structures subjected to Tsunami Hazards

(研究期間 平成 24～25 年度)

道路研究部 道路構造物管理研究室

Road Department Bridge and Structures Division

主任研究官 白戸 真大

Senior Researcher Masahiro Shirato

部外研究員 川見 周平

Guest Research Engineer Shuhei Kawami

室長

Head

研究官

Researcher

玉越 隆史

Takashi Tamakoshi

横井 芳輝

Yoshiteru Yokoi

Highway bridges were damaged due to tsunami in the 2011 Great East Japan Earthquake. Accordingly, it is important to develop design tsunami force and safety evaluation criteria is one of the important problems. Thus, NILIM has studied such design norms seeking relationships between tsunami forces acting on the highway bridges and observed extents of damage using numerical tsunami simulation.

〔研究目的及び経緯〕

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震では、津波により広い範囲で甚大な被害が発生した。道路橋でも上部構造や橋台背面土の流出、下部工の倒壊などの深刻な被害が見られた。一方で今後も巨大津波が発生する可能性はあると考えられており、道路橋の整備や管理にあたって津波の影響を適切に評価できる技術の確立が課題となっている。

本研究では、東北地方太平洋沖地震の被害実態を踏まえて道路橋の設計における津波の影響の評価手法を確立するために、津波の影響を受けたことが明らかな道路橋を対象に津波が橋に及ぼす影響の推定を行った。

〔研究内容及び研究成果〕

1. 架橋位置における津波特性の推算

本研究では、橋の上部構造に直接津波による水の力が作用した場合に、上部構造にはどのような影響が生じるのかを実際の被災形態との比較から推定する。そのため、はじめに外力条件として対象となる橋梁の各架橋地点における津波の状態を水理シミュレーションによって求める。対象地域は、道路橋の上部構造まで浸水したことが確認できる地域のうち、図面や現地調査の結果などから上部構造の形式や構造寸法などの諸元や被災形態が比較的確実に推定できる橋が多く存在する岩手県、宮城県、福島県の沿岸部から選定した。

これらの対象地域について、水理シミュレーションを実施し、対象とした橋梁の各架橋位置における津波

特性(流速、流向、水深、浸水高等)を推計した。図-1 に津波の浸水高と流速の推定結果を示す。浸水高については、東北地方太平洋沖地震以降に実施された各機関等における調査結果と水理シミュレーションにより推定した津波高の比を示している。ここで浸水高は、地表面または静水面からの津波高さ、流速は橋軸直角方向の流速を示しており、両者とも津波の一波目の押し波における最大値とした。図-1 より、8 割以上の橋梁位置で推定結果と現地調査結果の乖離は 30%程度までであり、水理シミュレーションによる津波特性の推定結果は概ね妥当であることが確認できた。

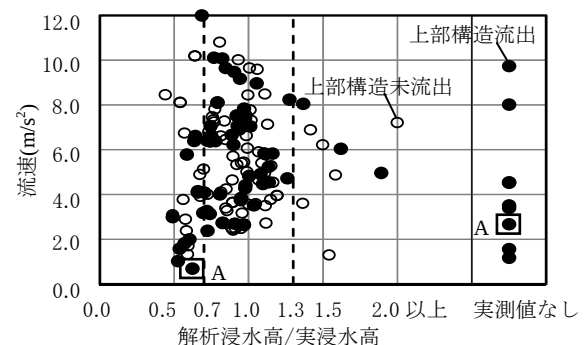


図-1 浸水高と流速の解析結果

2. 津波被害に対する評価手法の検討

(1) 津波作用力及び抵抗力の評価

橋の上部構造には、津波による水の作用によって、

①橋梁の断面形状や構造寸法などの影響によって橋軸

直角方向から橋の側面に働く静水圧と流体力の作用から生み出される水平力、②橋の断面形状などの影響によって水平方向から作用する流体力に起因して生み出される鉛直力、③没水体積に応じて生じる鉛直方向の浮力の3つの力が作用するものとした。一方、これに対して上部構造の抵抗機構としては、支承部が均等に抵抗する水平抵抗、鉛直抵抗、および橋軸直角方向に片方の端部の支承を中心とした回転運動に抵抗する回転抵抗の3つによるものとした。そして、調査結果から推定した実際の被災形態が各橋の抵抗と作用の関係から最も説明できるように調整する係数を回帰分析により推定することとした。この係数は、実際に橋桁が受けた作用力と実際に発揮された抵抗力のそれぞれに関連する効果や不確実性を実被害に応じて尤もらしく調整しているものである。係数に見込まれる、作用力及び抵抗力の効果やその内訳については、本手法では明らかではなく、今後の課題である。

（２）説明変数の抽出

水平方向及び鉛直方向の作用及び抵抗に影響のある要因を説明変数として抽出するため、桁高、張出長さ等の断面諸元と被害の相関関係を確認した。その結果、床版の張出長と被害の相関が高いことから、張出長/幅員を説明変数の候補の一つとした。また、一般に抗力係数や揚力係数は、抵抗体の断面形状に大きく依存すると考えられるため、桁高/幅員、幅員/径間長等の断面形状に関連するパラメータも候補とした。このように抽出された説明変数の候補を対象に多変量解析を行った。なお、目的変数は上部構造の流出の有無であり、多重ロジスティック回帰分析によって調整係数の推定を行う。説明変数の組合せの特定は、変数増加法によることとし、各説明変数の回帰係数を最尤法により算出した。

（３）被害実態との整合の確認

算定した津波作用力及び抵抗力による被害分析の結果を表-1及び図-2に示す。表-1は、被害判定的中率を示しており、津波作用力と抵抗力の大小関係と被害の有無が整合している橋梁の割合を示している。また、図-2は、横軸に水平方向、縦軸に鉛直方向に対して、津波作用力/抵抗力（安全率の逆数に相当）とし、

プロットしたものである。なお、プロットは、東日本大震災における実橋梁の上部構造の流出、未流出を区別した。

表-1より、上部工形式ごとの津波被害の的中率は約70%以上と高く、本研究による回帰分析で算出した調整係数を用いて作用力と抵抗力を算出し、その大小着目することで、東日本大震災における被害実態に即した津波被害の判別ができる可能性があることを確認した。

また、東日本大震災で流出した橋を対象とした被害判定では、コンクリート床版橋及び鋼鈑桁橋で90%以上、コンクリート床版橋で73%と全体の被害判定的中率よりも高く、津波被害を安全側に評価できることを確認した。他形式より被害断定的中率が低いコンクリート床版橋では、図-2より、実際に流出した橋のうち、被害判定が大きく外れている2橋が見られる(図中A)。この2橋は、図-1を見ると、比較的流速が遅いことから、提案した津波作用力の算定における適用条件の検証や津波特性を算出する解析精度を検証する必要があると考えられる。

【成果の発表】

国総研資料及び各種論文で発表予定。

【成果の活用】

津波の影響を受ける道路橋に対する技術基準の検討の参考資料として公開する。

表-1 津波被害の判定的中率

橋梁形式	被害判定的中率		
	全体	流出した橋梁	未流出の橋梁
コンクリートT桁橋	82 %	91 %	73 %
コンクリート床版橋	69 %	73 %	65 %
鋼鈑桁橋	78 %	100 %	58 %

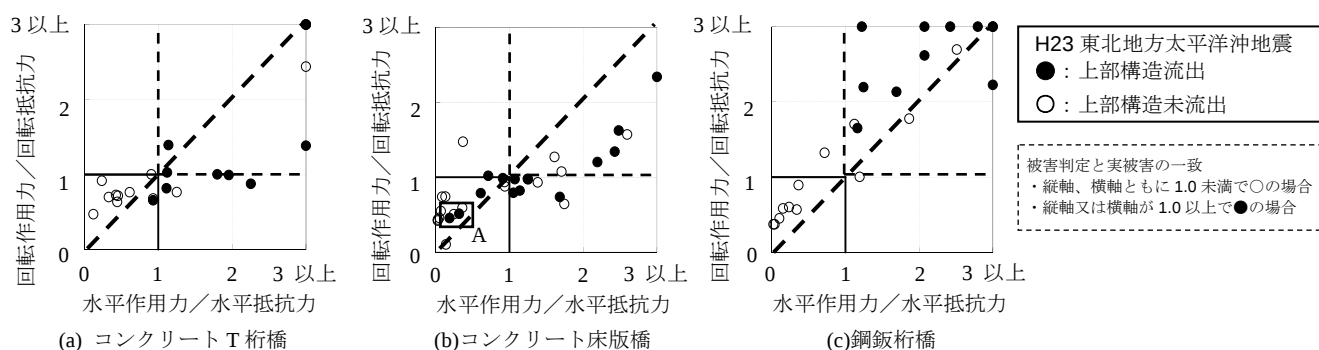


図-2 算出した作用力を用いた津波被害判定

土工の地震被害メカニズムの解明及び要求性能に関する調査検討

Study on damage to earth structures and performance requirements for rare-scale earthquakes

(研究期間 平成 24～26 年度)

道路研究部 道路構造物管理研究室
Road Department
Bridge and Structures Division

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
研究官
Researcher

玉越 隆史
Takashi TAMAKOSHI
白戸 真大
Masahiro SHIRATO
宮原 史
Fumi MIYAHARA

NILIM studies performance requirements for earth structures to develop performance-based design standards. For the purpose of providing basic data for this study, this paper organized the contents of existing technological standards. Furthermore, this paper examined the damage condition and its causes of existing earth structures.

〔研究目的及び経緯〕

本研究は、道路の土工構造物（カルバート、補強土擁壁、軟弱地盤対策工）のより合理的な設計、施工、維持管理の技術基準を確立することを目的とする。平成 24 年度は、これまで顕著な地震被害を受けていない一方、大規模地震時の挙動について不明な点が多く、耐震性能の照査方法に統一的な基準が確立されていない従来の標準的な寸法を大幅に超えるボックスカルバート（以下「大型カルバート」という）について、盛土内にある場合の耐震性能照査法を提案した。平成 25 年度はカルバートに加えて、対象を補強土擁壁、軟弱地盤対策工にも拡張、道路機能確保の観点から各構造物等の具備すべき性能の水準や相互の整合性について既存の技術基準類の規定とその背景にある技術的根拠に関する情報を収集・分析した。

〔研究内容及び成果〕

1. 土工構造物に関する技術図書類の整理

現行の道路土工指針及び鉄道構造物等設計標準における規定とその根拠とされる技術資料の内容を、要求性能、照査項目、制限値・許容値、構造細目、施工における前提条件、維持管理における前提条件等の観点から整理を行い、既に平成 14 年より性能規定型の基準として体系化されている道路橋示方書と対比することで性能規定型基準として捉えた場合の問題点と課題について整理した。対象はカルバート、補強土擁壁、軟弱地盤対策工とした。

平成 14 年に性能規定型の設計体系に転換した道路橋示方書では、道路橋の設計・施工において求められる性能を全ての項目について明文化するとともに、そ

の要求性能が満たされるための条件や具体的な方法を全ての項目に関連づけて示す体系となっており、基準によって達成されるべき性能の水準とその技術的根拠が多く設計項目に対して明確化されている。そこで、本研究では、道路橋示方書に示される内容を以下の(A)～(D)の4項目に分類し整理した上で、この分類に倣って道路土工指針及び鉄道構造物等設計標準の内容を整理した。

- (A) 要求事項（達成すべき耐荷力機構等）
- (B) (A)が成立するための条件
- (C) (B)を確認するための照査方法
- (D) (C)が適用可能となるための前提条件

例えば、道路土工カルバート工指針（以下、カルバート工指針）の第4章には、カルバートの設計に当たって要求される性能及び性能照査に関する基本的な考え方が示されている。しかし、道路橋示方書においては各部材の要求性能が明確化されているのに対し、カルバート工指針に示される要求性能の内容はカルバート全体としての要求性能の例が示されているのみに留まり、カルバートを構成する各部材等の具体的な設計や施工に関する記述と要求性能との対応関係も明確ではないものが多い。そのため、指針の求める性能を満足するためには指針の他の章における記述や指針が参照する技術基準類などを全て満足することで必要な性能が得られているとみなされるものの、標準的でない条件では必要な性能を満足させるための方法が特定しがたく、性能の検証も困難となることが想定される。

本研究では、カルバート工指針以外の土工構造物についても同様の分析を行い、検証性のある形で要求性

舗装の設計性能の設定手法及びコンクリート舗装の維持・管理基準 に関する調査検討

Research on Performance Objectives for Pavement and Maintenance Standards for Concrete Pavement
(研究期間 平成 25～27 年度)

道路研究部 道路構造物管理研究室
Road Department Bridge and Structures Division

室長 玉越 隆史
Head Takashi Tamakoshi
主任研究官 大城 温
Senior Researcher Nodoka Oshiro
研究官 北村 岳伸
Researcher Takenobu Kitamura
研究官 石尾 真理
Researcher Mari Ishio

In order to establish performance evaluation method and maintenance standard for road pavement, NILIM has been studying on data collecting and recording method of pavement. NILIM compared and analyzed image data of Road Surface Measuring Vehicle with state of the real pavement.

〔研究目的及び経緯〕

これまで、主要な道路ではアスファルト系の舗装の採用が大半を占めてきており、セメントコンクリート舗装（以下「コンクリート舗装」という。）は、一般にアスファルト舗装に比べて耐久性に優れ、ライフサイクルコスト削減効果が期待できると考えられるものの、経年による劣化や損傷、あるいは補修や更新などの維持管理手法についての知見が少なく採用は限定的であった。

本研究は、これまでに蓄積されてきた全国のコンクリート舗装の設計、施工、維持管理に関するデータを収集・分析し、ライフサイクルを考慮したコンクリート舗装の適用条件の明確化と合理的かつ効率的な維持・管理手法の確立を目指すものである。

平成 25 年度は、国内外の関連の文献調査を行い、コンクリート舗装の維持管理性の評価方法について整理した。また、路面性状測定車で取得された画像データと実際の舗装の状態との対比を行い、変状の特徴とそれらを定量的に評価する方法について検討した。

〔研究内容及び研究成果〕

1. コンクリート舗装の維持管理性の評価方法

ライフサイクルを考慮したコンクリート舗装の適用条件を明確化するため、アスファルト舗装とコンクリート舗装の特徴について国内外の文献をもとに整理した。また、アスファルト舗装とコンクリート舗装の性能を比較するため、管理者や舗装会社へのヒアリング結果等を参考に、コンクリート舗装の長所および短

表-1 アスファルト舗装とコンクリート舗装の特徴の整理

評価項目		コンクリート舗装	アスファルト舗装
走行性	耐流動性	塑性変形がないため、流動わだち掘れを生じない。	流動わだち掘れを生じやすい。
	耐摩耗性	比較的大	比較的小
	骨材飛散抵抗性	比較的大	比較的小
	耐すべり	配合条件や施工条件に配慮が必要。	比較的影響は少ない。
	走行性	目地部に段差が発生し、走行性が損なわれるおそれあり。	健全な場合、影響は少ない。
騒音・振動	騒音・振動	目地部に段差が発生し騒音・振動が発生するおそれあり。	健全な場合、影響は少ない。
維持管理性	寿命	長い	短い
	補修工法・掘り返し	期間を要する。	期間が短い。
LCC、コスト	材料	安定	変動大
	管理費	頻繁なメンテナンスは不要	頻繁に必要
	LCC	安価となる場合が多い	高価となる場合が多い
	初期コスト	高価	安価
その他	材料供給	安定	変動大
	技術者	経験のある技術者が不足している。	経験豊富な技術者が多い。

所をアスファルト舗装との比較の観点で計14の評価項目について表-1に整理した。

既往の文献やヒアリングから、コンクリート舗装はアスファルト舗装と比較して寿命が長い一方で、損傷が発生し始めた後の補修補強方法や打ち替え時期などが課題であること、さらに損傷事例として、経年劣化でコンクリート舗装版の膨張目地の機能が低下もしくはなくなっていたことが原因で、目地部における隆起現象（ブローアップ）が生じた事例があることなど、

維持・管理手法については、様々な損傷の事例や原因の整理と合理的な維持管理方法が明確でないことが課題であることが明らかになった。

2. 路面性状測定車（画像データ）と実際の舗装状態

直轄国道のコンクリート舗装約 93km の路面測定車の調査結果より、4 箇所の現地調査箇所を選定し、コンクリート舗装の点検に関する路面性状測定車の適用性について検討及び評価した。

図-1 は、コンクリート舗装のひび割れを示したものである。同じ地点で(a)に示す現地の状況を(b)に示す路面性状測定車の画像データにおいてもおよその長さや幅を確認することができた。図-2～4 に示す角欠け、わだち掘れ、ポリッシング、目地材のはみ出し、段差、目地材の飛散についても同様に確認することができた。ただし、ひび割れ深さ、わだち掘れ、段差、については、路面性状測定車の画像データで損傷は確認できるものの、定量的な評価が難しいものもあった。また、図-4 に示すように、路面性状測定車の画像データでは、路面の補修跡が黒色となるため、損傷の確認が難しい損傷もみられた。



(a) 現地調査結果 (b) 路面性状測定車画像データ

図-1 ひび割れ

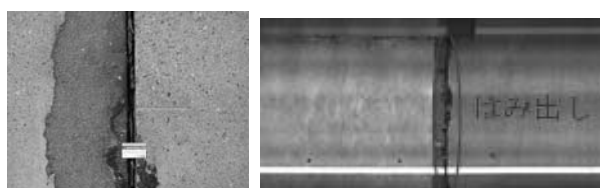


(a-1) 現地(角欠け) (a-2) 現地(わだち掘れ、ポリッシング)



(b) 路面性状測定車画像データ

図-2 角欠け(一部ひび割れ)、わだち掘れ、ポリッシング



(a) 現地調査結果 (b) 路面性状測定車結果

図-3 目地材のはみ出し

以上のことから、定量的な評価を含めて適用性が高いと判断できる破損等の種類は、「目地材のはみ出し・飛散」、「角欠け」、「ひび割れ」である。一方、路面性状測定車の調査結果からは、Z 軸方向（深さ方向）は確認できないことがわかった。

3. データベース化を考慮した点検結果の記録方法の整理

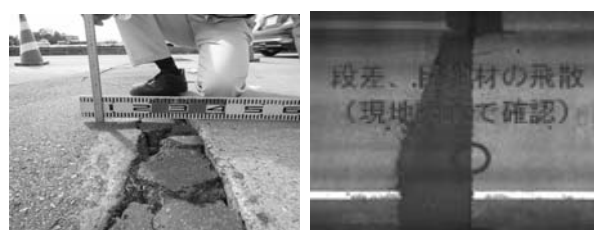
コンクリート舗装区間で実施する点検結果を、アセットマネジメントに資するデータベースの構築に活用することを念頭において、点検結果等の整理における留意点、記録方法を整理した。例えば、図-5に示すように鉄筋コンクリート舗装又は連続鉄筋コンクリート舗装それぞれに対して評価単位を設定するとともに、図-6に示すように定量的な評価方法について整理した。

【今後の課題】

コンクリート舗装における損傷事例や原因整理および合理的な維持管理法等の検討を進めていく。

【成果の活用】

点検基準等に反映する予定。



(a) 現地調査結果 (b) 路面性状測定車画像データ

図-4 段差、目地材の飛散

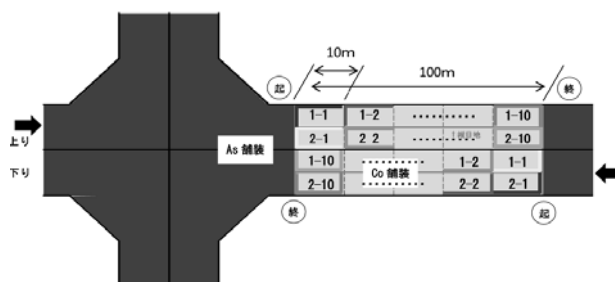


図-5 点検における版番号ごとの評価単位

角欠け率(%)=(角欠けの長さの累計(L1+L2+...))/(目地の長さ(L))×100

B: 角欠け幅(mm)

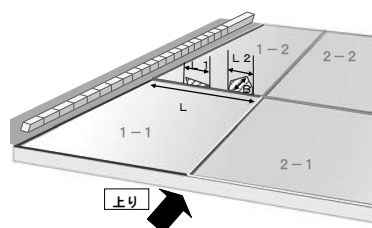


図-6 目地部の角欠けの損傷程度の定量的評価(例)

部分係数設計法の適用性拡大に関する調査検討

Study on the enhancement in applicability of partial factor design method

(研究期間 平成 23～25 年度)

道路研究部 道路構造物管理研究室
Road Department Bridge and Structures Division
主任研究官 白戸 真大
Senior Researcher Masahiro Shirato
交流研究員 山崎 健次郎
Guest Research Engineer Kenjiro Yamasaki

室長 玉越 隆史
Head Takashi Tamakoshi
研究官 横井 芳輝
Researcher Yoshiteru Yokoi
交流研究員 川見 周平
Guest Research Engineer Shuhei Kawami

To ensure required bridge performance based on reliability, NILIM has studied partial factor design bridge design specifications. The present study has tackled to enhance partial factor design for the use of rehabilitation design of existing structures where load factors change with traffic conditions, seismic risk, design reference periods, and so on.

〔研究目的及び経緯〕

我が国の道路橋の設計基準である「橋、高架の道路等の技術基準」(道路橋示方書)は、平成 13 年度の改定において性能規定型の概念が導入されたものの、耐荷力照査の基本書式は、従来の許容応力度設計法を踏襲し、設計で目標とする期間において橋の性能が満足されることの確からしさ等、道路橋の要求性能を合理的にかつ定量的に照査できる設計体系とはなっていない。そこで、国総研では、信頼性設計の考え方を基礎とする国際的技術基準の書式としての部分係数設計法の体系への転換を視野に必要な検討を進めている。

本研究では、現行基準による場合の耐荷力性能と同水準の性能に対応する部分係数の試算を行うとともに、それらを実際に橋梁設計に反映させた結果の分析によるコードキャリブレーションを行い、設計基準における荷重組合せ及び荷重係数の設定方法について検討した。また、一般化した荷重組合せ及び荷重係数の設定方法を用いて、交通特性や設計供用期間の変化が荷重係数に及ぼす影響について検討した。

〔研究内容及び研究成果〕

1. 荷重組合せ及び荷重係数の設定

(1) 対象橋梁

キャリブレーション対象とした橋梁形式は下記より鋼橋15橋、PC橋7橋の計22橋とした。

- ①従来から実績の多い形式(PC単純T桁橋等)
- ②実績が増えつつある新形式(鋼連続少数鈑桁橋等)
- ③部分係数法の導入に伴い各作用の影響度に大きな変化が予想される形式(温度変化の影響を受けやすい多点固定のラーメン橋等)

(2) 荷重シミュレーション

設計供用期間内に各断面に生じる断面力の極値をシミュレーションにより求め(以下、荷重シミュレーションという)、極値に対応する断面力が発生した瞬間の荷重組合せと荷重の大きさを求める。このとき、それぞれの荷重をその荷重の特性値で除すことで荷重係数が求まる。以下に設計供用期間として100年を仮定したときに100年の間に発生する断面力の極値分布を求めるための荷重シミュレーション手順を示す。

- ①100年間の間、指定した時間間隔に各荷重の確率モデルに従い荷重を載荷する。
- ②着目断面、着目断面力ごとに、100年間で最大値となる断面力とそのときの荷重組合せ及び各荷重による断面力を抽出する。
- ③①～②を1,000回実施する。
- ④着目断面、着目断面力ごとに、1,000個の最大値により100年最大値分布(極値分布)を作成する。

(3) 荷重シミュレーションにおける発生荷重

荷重シミュレーションに用いる荷重は、設計で考慮する期間(供用期間)内において、ほとんどその大きさが変動しない永続荷重と絶えず大きさが変動する変動荷重とする。

考慮する荷重のうち、死荷重(D)、土圧(E)、クリープ(CR)のように変動が少ないと考えられる永続荷重は、100年間で一定値とする。ただし、死荷重や土圧は、寸法や単位体積重量のばらつきを考慮し、確率密度関数を設定し、100年毎に確率値を更新する。

永続荷重の載荷と同時に温度の影響(T)、風荷重(W)、地震の影響(EQ)、雪荷重(SW)の各変動荷重は、実測データより確率分布を作成し、所定の時間間隔で同時に発生させて載荷する。また、変動荷重である活荷重(L)

は、全国 21 箇所にて調査した活荷重実態調査における統計データを基に、模擬車列を作成し、それを橋に載荷したときの着目断面の活荷重断面力を 1000 万回計算することで活荷重断面力の確率分布を作成した。なお、各変動荷重の発生頻度は、表-1 に示す通りである。

表-1 変動荷重の発生頻度

変動荷重	活荷重(L)	温度の影響(T)	雪荷重(SW)
発生頻度	2時間毎	2時間毎	10月～3月に2時間毎 (積雪地域)
変動荷重	風荷重(W)		地震の影響(EQ)
	季節風	台風	
発生頻度	1ヵ月に1回	6月～10月に3回	1年に12回 (M5.0以上)

(4) 荷重組合せ及び荷重係数の抽出

荷重シミュレーションの結果より、図-1 の(1)に上部工主桁の曲げモーメントについて、断面力 100 年最大値分布の非超過確率 95%の断面力と現行基準による断面力との比率の頻度分布、(2)に橋脚柱基部の曲げモーメントの断面力 100 年最大値分布の平均断面力と現行基準による断面力との比率の頻度分布を示す。図-1 より、上部工主桁のように鉛直力が卓越する断面力に対しては非超過確率 95%、橋脚基部のように水平力が卓越する断面力に対しては最大値分布の平均値が現行基準の断面力相当になることがわかった。このことから、荷重係数の検討は、鉛直力が卓越する断面力に対しては非超過確率 95%、水平力が卓越する断面力に対しては最大値分布の平均値となる断面力を用いることとした。また、この結果は現行基準の荷重組合せが橋梁間で荷重作用の安全性水準が異なっていることも示している。今後、新しい構造形式が出てくることも考えられる中で、橋梁によらず均質な安全性水準を付与できるような荷重組合せとなるように見直す必要性があることが示唆される。

そこで、新たな荷重組合せと荷重係数の特定を行うため、タスクストラ則を拡張した方法を提案した。荷重係数の集約結果の一例を表-2 に示す。表-2 より、活荷重の荷重係数は幅があり、架橋地点での交通実態を反映した設計ができる可能性がある。また、荷重組合せでは、現行基準には規定されていない組合せ(D+T+EQ+...)が橋梁に影響を及ぼすことを確認した。

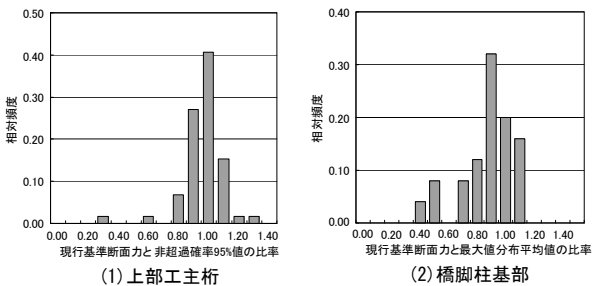


図-1 断面力 100 年最大値分布の傾向

表-2 荷重組合せと荷重係数の一例

組合せ	D	L	T	W	EQ	SW	CR
D+L	1.00~1.10	0.80~1.40					
D+L+C	1.00	0.90~1.30					1.00
D+L+T+W+C	1.00	0.50~0.60	0.40~0.6	1.2~1.4			1.00
D+L+EQ	1.00~1.10	0.10~0.80			0.60~1.10		
D+T+EQ	1.00		0.20		1.50		
D+L+T+EQ+CR	1.00	0.10~0.90	0.70~0.90		0.20~1.20		1.00

2. 大型車混入率及び設計供用期間の検討

現行基準では、設計上の目標期間 100 年を目安としているが、耐荷力等の照査に対して確率的な解釈と直接的に関係づけられていない。また、現行基準の活荷重は、橋の重要度と大型車交通量により A 活荷重又は B 活荷重を選択することとなっており、提案する方法を用いることで、より実態の交通特性に応じた活荷重を与えることが出来る可能性がある。

(1) 設計供用期間の荷重係数への影響

設計供用期間を 100 年、30 年、10 年と変化させて荷重シミュレーションを行ない、活荷重係数への影響を検討した。例として、鋼単純非合成板桁橋(支間長 34.2m)と鋼 3 径間連続非合成箱桁橋(支間長 41.8m+60.0m+30.8m)において、荷重シミュレーションから得られた各設計供用期間の活荷重係数を図-2 に示す。図-2 より、2 橋ともに設計供用期間を短くすると活荷重係数も低減している。この結果から、既設橋の補修補強設計などでは、想定する供用年数に応じた合理的な設計が可能となることを確認した。

(2) 大型車混入率の荷重係数への影響

大型車混入率を 50%、30%、10%と変化させて荷重シミュレーションを行い、活荷重係数への影響を検討した。例として鋼単純非合成板桁橋(支間長 34.2m)と鋼 3 径間連続非合成箱桁橋(支間長 41.8m+60.0m+30.8m)において、荷重シミュレーションから得られた各大型車混入率の活荷重係数を図-3 に示す。図-3 より、2 橋ともに大型車混入率が減少すると活荷重係数も低減している。したがって、交通実態に応じた合理的な設計が可能となるように、大型車交通量の違いによる活荷重係数を設定できる可能性があることがわかった。

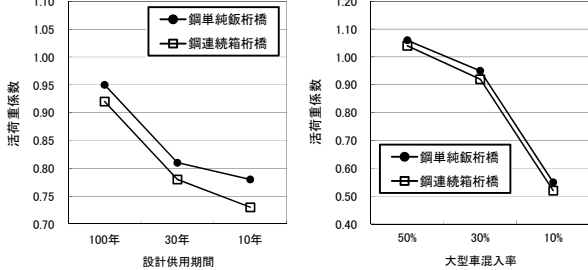


図-2 設計供用期間と活荷重係数

[成果の活用]

道路橋示方書等、技術基準改定のための基礎資料として活用される予定である。

図-3 大型車混入率と活荷重係数

構造解析手法に応じた安全率設定手法に関する調査検討

Study on different safety factors as a function of structural analysis methods

(研究期間 平成 23～26 年度)

道路研究部 道路構造物管理研究室
Road Department Bridge and Structures Division
主任研究官 白戸 真大
Senior Researcher Masahiro Shirato
研究官 横井 芳輝
Researcher Yoshiteru Yokoi

室長 玉越 隆史
Head Takashi Tamakoshi
研究官 石尾 真理
Researcher Mari Ishio
部外研究員 水口 知樹
Guest Research Engineer Toshiki Mizuguchi

The application of the analysis with the constant shear flow panel and the edge members to design a highway bridge is proposed as reasonable and advanced method in comparison with the grillage analysis and FEM. And the evaluation of the structural redundancy of a highway bridge is analytically attempted.

〔研究目的及び経緯〕

設計の合理化・高度化等に資する新たな知見の導入促進等も目的の一つとして、平成 13 年に道路橋示方書が性能規定型の基準に改定されてから、従来の標準的な仕様によらない新しい橋梁形式や構造の道路橋の採用が検討される例も多くみられる。しかし、それまでの道路橋設計基準の許容応力度等の規定は、初等梁理論に基づいた格子解析を前提に、部材の載荷実験結果を公称応力で評価した結果などを用いて部材の破壊モードごとに構築されてきたものである。そのため、実務において FEM 等の高度な解析モデルを用いても、算出される応答値は 2 次応力の影響等も含まれた局所応力を含み、公称応力と異なることから、許容応力度と単純に比較することができない。

一方、近年の米国における落橋事故や我が国の損傷事例に基づけば、一部の部材の損傷や異常によって橋全体が不安定となったり、連鎖的に損傷範囲が拡大して橋全体が致命的な状態に至らないといった冗長性なども橋の性能として設計段階で意図して備えることも考えられる。そしてこの実現には、設計段階でより忠実に実際の部材の形状や 2 次応力の影響、構造細目の

効果などの構造特性を反映できる解析手法による橋全体の抵抗の状態の評価やそれらの前提としての許容される部材の限界状態の評価が行えることが不可欠であるが、定量的な評価手法や照査基準は確立していない。

以上より、本研究は、構造リダンダンシーを合理的に評価できる設計手法の確立を目的とするものである。

平成 25 年度は、格子解析モデルに対してより高度な解析モデルの活用を前提とした設計手法の確立の検討、及び構造リダンダンシーの体系化の検討を行った。

〔研究成果〕

1. 高度な解析を用いた合理的な設計手法

（１）解析手法の違いによる照査内容の特徴

格子解析を基本とした実務における橋梁設計のフローに対して、高度な解析手法である一定せん断流パネルを用いた解析（以下、せん断パネル解析という）、と FEM 解析の 2 つの解析手法をそれぞれ基本とした場合に想定される設計フローを対比させ、各手法の特徴と課題を整理した。設計対象は、各手法の相違の特徴が現れやすいと考えられた鋼連続合成 I 桁橋と鋼立体ラーメン橋とした。解析手法の特徴の概略を図-1 に示す。

その結果、格子解析を基本とする現在の設計においても、一つの格子解析モデルだけでは適切な照査が困難で別途解析モデルを作成するなどの対応を余儀なくされていた設計項目も多く、せん断パネル解析や FEM 解析を基本とすることで、効率的にこれらの照査が行えることがわかった。

FEM 解析では要素ごとの主応力や相当応力を直接解析結果として算出するため、要素分割により値が変化する。さらに、部材の破壊モードごとに評価する応力範囲が異なることも踏まえて、照査では算出した作用応力の後処理が必要になる。一方、せん断パネル解析

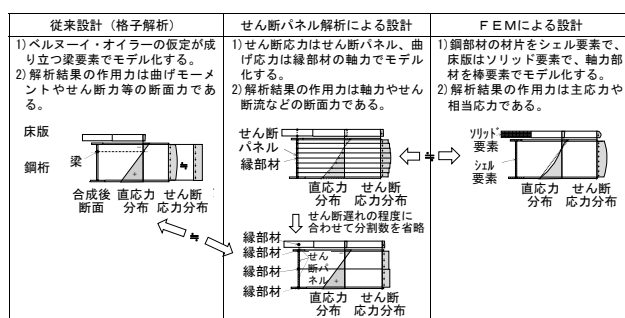


図-1 解析手法の理論と特徴の比較

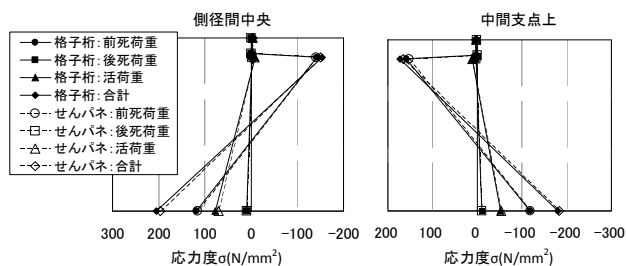


図-2 せん断パネル解析と格子解析の主桁応力度

では、格子解析と同様に、棒部材やせん断パネルに作用する断面力と変位のつりあい条件から算出した断面力を用いて、ベルヌーイ・オイラーの仮定などから断面に作用する直応力やせん断応力を求める。そのため、後処理を必要とせずに、格子解析と同等の作用応力度を算出することが可能であり、多くの照査項目でこれまでの許容応力度をそのまま適用して設計ができることがわかった(図-2 参照)。

(2) せん断パネル解析を用いた試設計

格子解析では考慮できない詳細な構造に対してせん断パネル解析による試設計を2つの橋梁形式で行い、鋼ニールセンローゼ橋のアーチリブと上支材接合部の格点部の結果を例として示す。格子解析では一般に棒部材を単純に共通節点で接合した解析モデルを用いて部材断面を決定し、格点部は詳細な応力算出を行わずに図面作成時に構造細目を決める。ここでは、詳細な作用応力状態を把握するため、図-3(a)に示す応力照査を行った。格子解析では、アーチリブと上支材それぞれの最適断面を単独で決めた後に、製作上の作業スペース確保のために、格点部におけるアーチリブ内部のダイヤフラム位置を上支材ウェブとずれた位置に配置した。そのため、降伏強度 355 N/mm^2 に対して最大 1997 N/mm^2 と大幅に超過した作用応力度が発生した。耐荷力上の安全性は、部材の座屈や降伏など破壊モードごとの評価を行う必要があるものの、格子解析による各部材の最適設計だけでは、着目部位によって耐荷力上、不適切な構造となる危険性を示唆した。一方、図-3(b)に示すせん断パネル解析による試設計では、着目部位を詳細にモデル化するため、このような応力超過に設計計算段階で気づくことができる。その結果、作業スペース確保及び材片レベルの応力伝達の確実さを考慮して上支材をアーチリブと同じ梁高とするなどの定性的な配慮にとどまらず、具体的に局所応力のピークを低減させた構造を容易に決定することができた。

応力伝達が複雑な構造では、FEM 解析と同様に許容応力度との比較のための作用応力の後処理に関する検討が必要である。さらに、部材単独の照査について、要素分割を細かくして詳細な応力を算出している場合、FEM 解析と同様に2次応力の扱いなどを個別に検討す

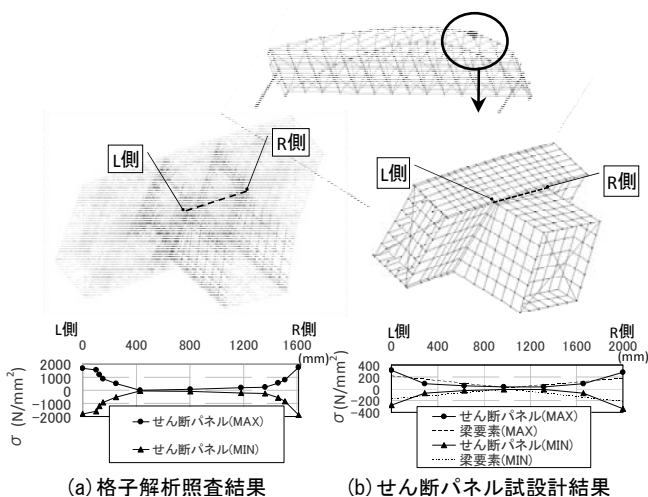


図-3 試設計結果(鋼ニールセンローゼ格点部)

る必要がある。しかしFEM 解析ではスカラップの形状等の全ての構造細目の影響までを幅広く考慮できるものの、細部構造が絞り込めない段階からの活用は手戻りが大きく、計算結果に影響する要素分割の方法などの統一的な要領の確立も困難が予想される。対して、せん断パネル解析ではフランジやウェブ、縦リブ等の薄肉断面間の応力伝達に関する許容値の設定に検討対象を容易に絞り込め、基準の前提とする設計手法として確立するまでの課題ははるかに少ないことが試算を通じて明らかにできた。

2. 構造リダンダンシーの評価

構造リダンダンシーへの配慮方法に関する基礎的検討として、安全工学等の知見から損傷した部材と同様な機能を有する部材への応力再配分などで機能が補われる補完性と、他の機能を有する部材による別な構造

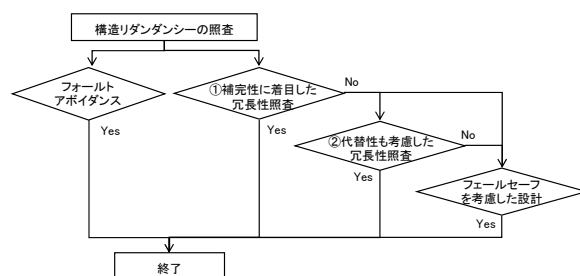


図-4 構造リダンダンシーの設計体系

特性が働く代替性等を図-4のように体系化を試みた。

【今後の課題】

解析手法によらず適切な安全余裕が確保できるための普遍的な設計要領の確立、及び構造リダンダンシーの定量的評価基準の確立。

【成果の発表】

国総研資料及び各種論文で発表予定。

【成果の活用】

実務者のための設計ガイドラインや基準等に反映させる予定。

初期品質の信頼性向上策及び実品質に基づく性能評価手法に関する調査検討

Research on the improvement and evaluation method of construction quality for highway bridges

(研究期間 平成 24～26 年度)

道路研究部 道路構造物管理研究室

Road Department, Bridge and Structures Division

主任研究官 白戸 真大

Senior Researcher Masahiro SHIRATO

交流研究員 狩野 武

Guest Research Engineer Takeshi KARINO

室 長

Head

研究官

Researcher

玉越 隆史

Takashi TAMAKOSHI

小原 誠

Makoto OBARA

The construction quality of highway bridges is likely to be closely related to the reliability in durability. NILIM has examined the relationship between the reliability in the durability of highway bridges and the construction quality, seeking a method to evaluate the durability based on actual construction quality control and assurance results.

〔研究目的及び経緯〕

全国規模での道路橋の初回及び定期点検データの分析から、道路橋の施工品質がその耐久性に影響を持つ可能性が見られる。そのため国総研では、道路橋の初期品質が実品質の信頼性に及ぼす影響を明らかにするとともに、初期品質の向上策および向上により得られる実品質を反映した道路橋の性能評価の手法の確立を目指した調査研究を進めている。

本研究では、これらの検討に必要な基礎資料を得るため、PC橋について、コンクリート打設時の温度応力の残留、架設時荷重、クリープや乾燥収縮や鉄筋による変形拘束等の長期荷重の影響を考慮した3次元FEM解析及び2次元骨組み解析による試算を実施し、応力分布を比較した。

〔研究内容及び研究成果〕

コンクリート橋の早期ひび割れの有力な原因として若材齢時の温度応力やコンクリートの収縮が考えられたため、3次元FEM解析を用いてモデル橋梁に対してこれらの影響を評価した。FEM解析は、実際の施工条件に沿って、まずコンクリートの打設順序を再現した温度応力解析を行った後、その結果を引継ぎ、自重、PC鋼材の緊張、長期収縮、PCの緊張や収縮に対する鉄筋の変形拘束などを考慮した応力解析を実施した。

図-1～図-5に、コンクリート硬化時に発生する温度応力やそれがひび割れに与える影響（ひびわれ指数）

の解析結果を示す。条件によっては、応力が残留するとともに若材齢時に温度に起因するひび割れが生じる可能性が高い部分が生じる。桁自体を一本棒でモデル化する場合には、このような残留応力の影響は考慮しがたいが、一方で、3次元的には耐久性に影響を与える可能性のあるひび割れが生じる恐れがあることがわかる。

図-6に50年という長期間にわたる収縮の影響による応力度分布を示す。絶対値は小さいものの、長期荷重の影響でも床版中央部の応力が増加するが生じることがわかる。このような位置のひびわれは点検でも確認されるものであり、床版に耐久性に影響を与えるようなひび割れが長期荷重の影響でも生じ、実品質に影響を与える可能性が捉えられた。

次に、2次元骨組み解析でこれらの応力分布が再現出来るか、図-7及び図-8に示すように、通常設計計算で考慮するような橋軸方向についてだけでなく断面方向でも計算を行った。図-9～図-12に結果を示す。緊張力のモデル化手法の違いや、支点横桁付近のように接合部で応力分布が複雑になるところについては、断面方向の骨組み解析は応力を過小評価する傾向が見られた。

以上のように、通常の骨組み解析による桁の耐荷力照査や経験的な用心鉄筋の配置によるだけでは、初期品質及び長期に渡る実品質の向上が困難であり、必要

な応力制御を行えるような照査体系が初期品質の信頼性向上のために必要である。

[今後の課題]

クリープや架設時荷重等の影響については未解明の点が多く残されており、これらの解明が必要である。

[成果の発表]

国総研資料等に発表予定である。

[成果の活用]

道路橋示方書の改善の基礎資料となるものである。

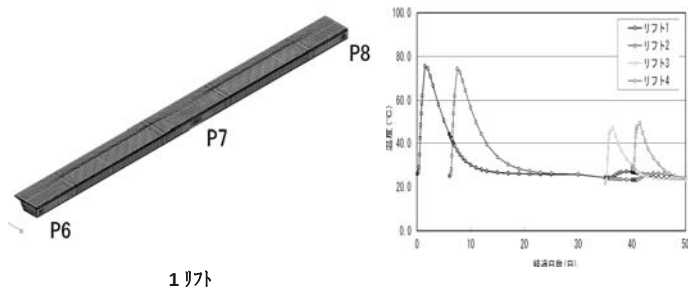


図-1 温度コンター図
(全体モデル)

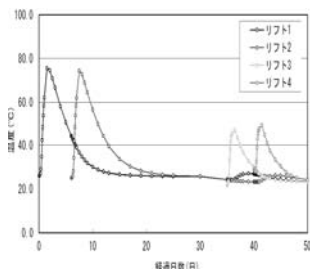


図-2 温度履歴図
(各リフト横桁部の温度 Max75°C)

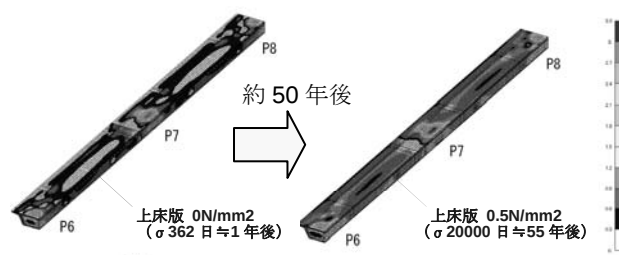


図-6 最大主応力度コンター図

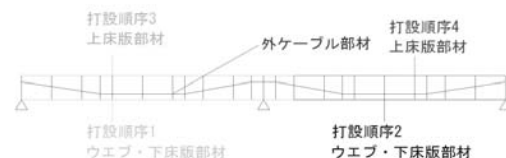


図-7 2次元骨組み解析モデル (橋軸方向の解析)

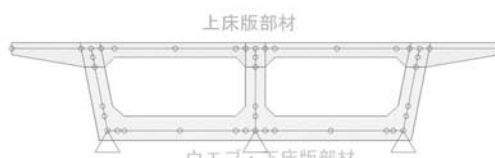


図-8 2次元骨組み解析モデル (断面方向の解析)

a) 2次元骨組み解析とFEM解析との比較 (橋軸方向)

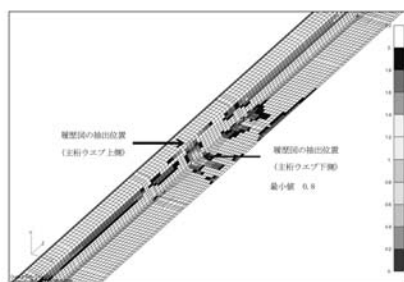


図-3 ひび割れ指数
(ウェブ下側 0.8→ひび割れ発生 95%)



図-4 最大主応力履歴図

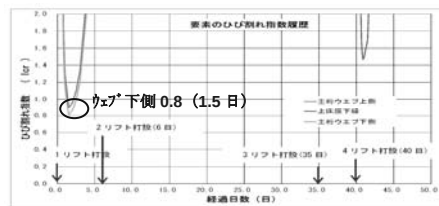


図-5 ひび割れ指数履歴図

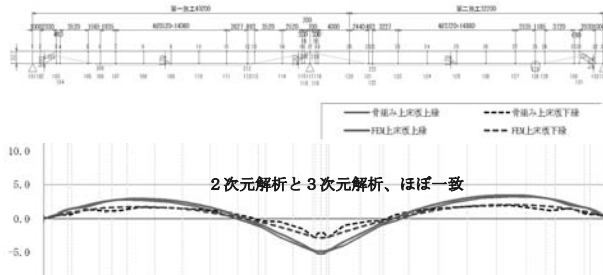


図-9 曲げ応力度の比較 (自重)

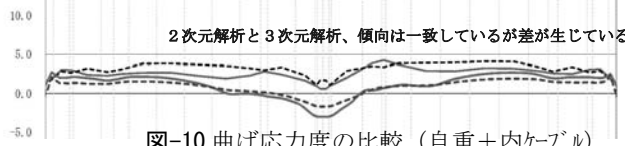


図-10 曲げ応力度の比較 (自重+内ケーブル)

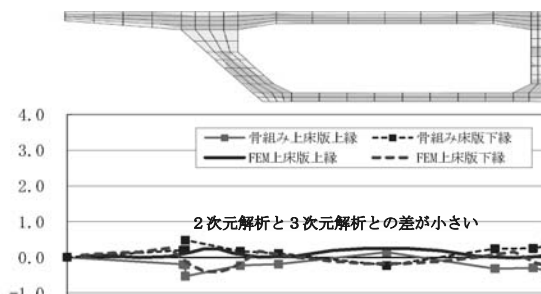


図-11 曲げ応力度の比較 (自重+内ケーブル) 支間中央断面

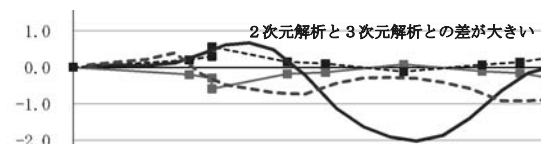


図-12 曲げ応力度の比較 (自重+内ケーブル) 支点横桁付近断面

複合構造の安全性評価技術に関する調査検討

Study on safety and reliability evaluation criteria for composite bridge structures

(研究期間 平成 25～28 年度)

道路研究部 道路構造物管理研究室

Road Department Bridge and Structures Division

主任研究官 白戸 真大

Senior Researcher Masahiro Shirato

交流研究員 山崎 健次郎

Guest Research Engineer Kenjiro Yamasaki

室長

Head

研究官

Researcher

交流研究員

Guest Research Engineer Shuhei Kawami

玉越 隆史

Takashi Tamakoshi

横井 芳輝

Yoshiteru Yokoi

川見 周平

In its 2002 revision, the Specifications for Highway Bridges which prescribes the design standards for highway bridges in this country, introduced new performance parameters and guidelines. With the introduction of performance based design standards, there has been a rise in the use of composite structures to make use of the material properties of steel and concrete. In this study, in order to perform a reliability evaluation for the girder and the deck of a composite girder that is well proven and has been used than in the past, we performed the Monte-Carlo Simulation in consideration of the vehicle column model, and examined combinations or variations of the load.

〔研究目的及び経緯〕

鋼とコンクリートの材料特性を生かす構造として鋼コンクリート複合構造の研究が進み、道路橋上部構造への適用事例も増加している。現状では道路橋に用いる場合の標準的な構造や照査法は確立しておらず、鋼橋とコンクリート橋の基準を準用して設計が行われているものの、両者の標準的な照査法を組み合わせる用いることには整合性の面で問題もあることから設計基準体系の整備が期待されている。

平成 25 年度は、道路橋示方書の鋼橋とコンクリート橋の基準体系を分析し、複合構造を適用するうえで、部材、連結、荷重分配やねじれ剛性確保のための横構・横桁の要求性能の明確化、体系化、及び信頼性確保の考え方の整合を図るべき事項を整理した。また、過去より用いられており、既の実績も十分ある合成桁の床版と桁の信頼性評価を行うために、車両列モデル等を考慮した作用荷重のモンテカルロシミュレーションを実施し、作用荷重のばらつきや組み合わせを把握した。

〔研究内容及び研究成果〕

1. 検討方針

道路橋の合成桁の床版は、主桁断面の一部としての作用の応力と床版としての応力を同時に受ける。このため、道路橋示方書では、床版としても不利になる載荷状態について応力を算出して照査を行うのに加えて、床版作用と主桁作用を同時に考慮した場合についても照査を行っている。このとき、それぞれの作用におい

て支配的となる活荷重の載荷状態が異なる。また、設計荷重に対応する荷重状態が実際に出現する確率などは交通量や橋梁規模によっても異なることが想定され、要求性能の水準には不明確な点がある。そこで、車両列モデル等を考慮したモンテカルロシミュレーションを実施し、信頼性の観点から合成桁の床版における安全性評価を行った。

本検討では、図-1に示すフローに従い主桁作用と床版作用の重ね合わせによる合成応力度を算出した。

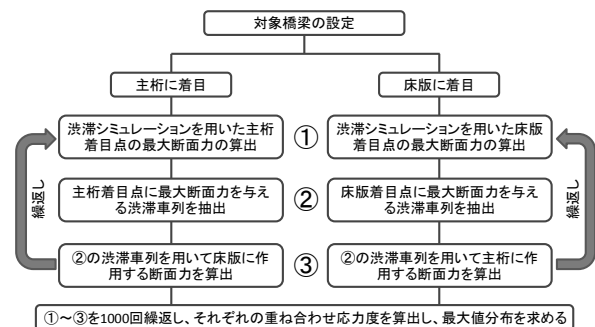


図-1 渋滞列シミュレーション方法

2. 渋滞列シミュレーション方法

本検討では、典型的な橋として、B活荷重で設計される鋼単純合成鉄桁橋を対象とし、着目断面は、主桁作用に対して道路橋示方書による断面力が最大となる支間中央部、床版作用に対して配力筋方向の曲げモーメントが最大となる床版支間中央部とした。

渋滞列シミュレーションは以下の条件にて行った。

①床版の上を走行させる車両列は、活荷重実態調査

(WIM)の統計データから、車両分布特性、車間距離、レーン内の車両位置の横ぶれを考慮し設定する。

②車両列の交通特性は、平均日交通32,000台、大型車混入率50%の道路で計測されたWIMデータに基づき、大型車混入率30%となるように調整し、モデル化する。

③活荷重の載荷方法は①,②で設定した十分に長い車両列から切り出して載荷する方法を用いる。

④渋滞を朝夕各1回と仮定した場合の100年に発生する渋滞回数は73,000回となることから、さらに統計的信頼性を考慮してそれを上回る10万回の載荷を行い、その最大値を着目点に与える車両列を求める。

⑤上記の計算を1,000回繰返し、1,000個の最大応答値を抽出し最大値分布を求める。

3. シミュレーション結果

(1) 断面力最大値分布

10万回の渋滞列シミュレーションを行い、主桁着目点又は床版着目点に最大断面力を与える渋滞車列を求めるだけでなく、主桁着目点に最大断面力が生じたときの床版着目点の断面力、また、その逆の場合の断面力を同時に求め、これを1,000回行った。図-2 a)は、主桁作用に着目した1,000個の断面力最大値分布であり、図-2 b)は同じ載荷状態のときの床版の断面力分布である。図中には、道路橋示方書で考慮される断面力も示している。床版作用に着目した断面力は道路橋示方書で与えられる断面力より小さい。

また図-3 b)より床版着目点に最も厳しい断面力を与える載荷状態のときも、床版作用に着目した断面力は道示で与えられる断面力よりも小さい。

(2) 重ね合わせ応力度の評価

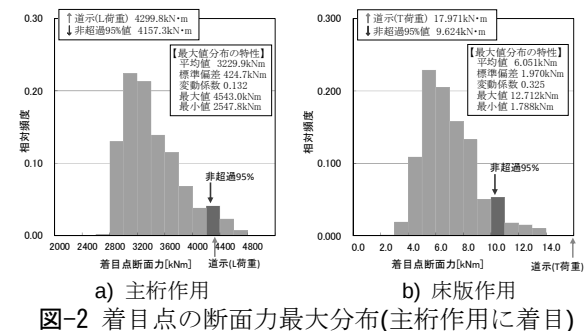


図-2 着目点の断面力最大分布(主桁作用に着目)

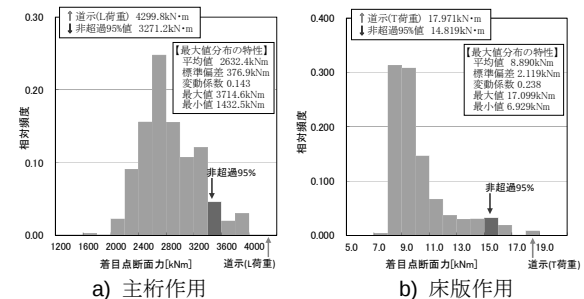


図-3 着目点の断面力最大分布(床版作用に着目)

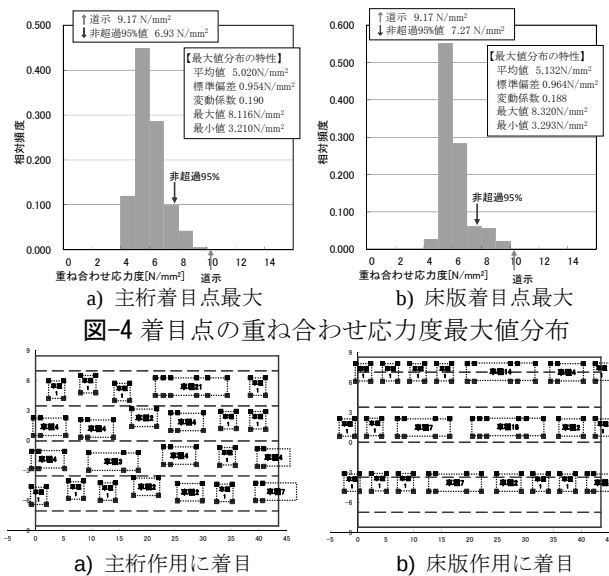


図-4 着目点の重ね合わせ応力度最大値分布

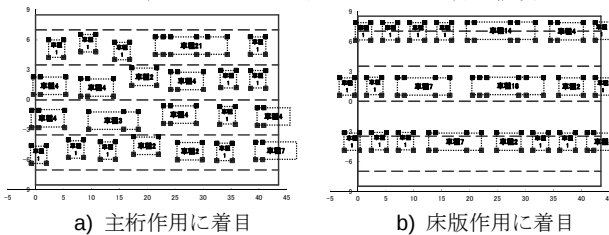


図-5 非超過確率 95%値の渋滞車列図

図-4には主桁着目点又は床版着目点に最大断面力を与える渋滞車列において、主桁作用と床版作用を重ね合わせたコンクリート圧縮応力度の分布を示す。道路橋示方書による重ね合わせ応力度は、シミュレーション結果の最大値よりも大きいことがわかる。

図-5には主桁作用と床版作用のそれぞれに着目した断面力最大値分布の非超過確率95%値の載荷状態となる渋滞車列を示す。主桁又は床版着目点に不利な状態を与える車列状態が異なることから、これらの作用が重なり同時載荷される状態とはならないと考えられる。着目点の断面力最大値分布において、非超過確率95%値による断面力を用いて主桁作用と床版作用の重ね合わせによるコンクリート圧縮応力度を算出した結果を図-6に示す。ここで道路橋示方書(L荷重)は主桁着目のL荷重の載荷状態を床版に作用させたときの応力度であり、道路橋示方書(T荷重)は床版着目のT荷重の載荷状態を主桁に作用させたときの応力度である。本橋の場合には、重ね合わせによる応力度は、主桁着目点が不利となる載荷状態の場合より床版着目点が不利となる載荷状態の場合の方が厳しい応力状態となった。対象とする橋梁の諸元の範囲を変えて、多様な条件に対して検証を進めていく予定である。

〔成果の活用〕

道路橋示方書等、技術基準改定のための基礎資料として活用される予定である。

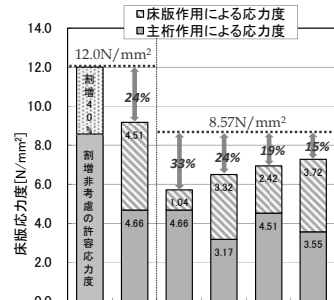


図-6 非超過確率 95%値による応力度

超高力ボルト摩擦接合継手の設計基準に関する研究

Study on Design Criteria for Frictional Grip Connection Joints with Super High Tension Bolts

(研究期間 平成 24～26 年度)

道路研究部 道路構造物管理研究室

Road Department Bridge and Structures Division

主任研究官 白戸 真大

Senior Researcher Masahiro Shirato

研究官 横井 芳輝

Researcher Yoshiteru Yokoi

部外研究員 山崎 健次郎

Guest Research Engineer Kenjiro Yamazaki

室長

Head

研究官

Researcher

部外研究員

Guest Research Engineer Toshiki Mizuguchi

玉越 隆史

Takashi Tamakoshi

石尾 真理

Mari Ishio

水口 知樹

The use of high-strength bolts (SHTB: Super High Tension Bolt) will enable to reduce the size of connections. It will also expect to improve construction qualities and to reduce construction cost in the connections. However, design guidance has not been established for the use in highway bridges yet. The present study has investigated the slip behavior of the SHTB joint performance by the FEM analyses and durability.

〔研究目的及び経緯〕

鋼道路橋の部材の接合に用いられる高力ボルトは、一般にその強度が高いほど必要本数を削減できる。そのため、継手部の小型化とボルト本数の削減によるコスト削減の観点からより高強度の高力ボルトの実用化が期待されている。しかし、道路橋の設計基準である道路橋示方書により現在規定されている強度(F10T)より高強度のボルト(F11T, F13T)は、過去に突然脆性的に破壊(遅れ破壊)したことを受けて、道路橋に対する使用が控えられてきた。近年、耐遅れ破壊性能に優れたF11T 以上の高強度の高力ボルト(以下、「超高力ボルト」という)が開発され、建築分野では建築基準法に基づき国土交通大臣の認定を受けて実用化されている。

超高力ボルトを道路橋に適用するに当たっては、主に①屋外で 100 年という長期耐久性が期待される環境の厳しさ、②施工方法、③継手部に求める施工品質や精度などの条件の 3 点で建築分野とは条件に相違があることから、上記①から③について適用性や適用条件を確認する必要がある。

国総研ではこれまで、これらの課題について産学とも共同研究を行うなど関係機関と連携して研究を進めてきた。このうち③に関しては、過年度までに摩擦接合継手を対象に、ボルト等級・ボルト径・接合面処理方法・母材板厚・母材材質・ β (すべり/降伏耐力比)・フィラーの有無・肌すき・多列・再組立の接合面処理方法などの条件と継手性能の関係についてパラメトリックに条件を変えた供試体実験を行ってきている。

平成 25 年度は、これらの実験で確認された継手部の

挙動の確認と実測されたすべり係数の検証のために、これまで実施した試験について FEM 解析を実施した。

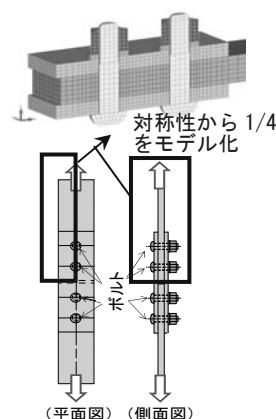


図-1 解析モデル
(標準すべり試験)

表-1 解析ケースの諸元

No.	パラメータ	径	孔径	列数	母材板厚
1	基本	M22	24.5	2	32
2	径	M22	24.5	2	28
9		M24	26.5	2	28
3	母材板厚	M22	24.5	2	50
4		M22	24.5	2	75
10		M24	26.5	2	50
11		M24	26.5	2	75
5	列数	M22	24.5	8	75
6		M22	24.5	10	75
7	孔径	M22	24.5	12	75
8		M22	26.5	2	32
12		M24	28.5	2	28

〔研究成果〕

1. 標準すべり試験

図-1に示す継手試験体を上下方向に引張る、標準すべり試験法¹⁾による実験を FEM 解析で再現してすべり係数の比較を実施した。

試験ケースを表-1 に、試験と解析で得られたすべり係数を図-2 にそれぞれ示す。以下に、表-1 のパラメータごとに実験結果と数値解析結果を比較する。

(1) ボルト径

M22 と M24 を比較すると、解析では両者とも 0.48 で同じすべり係数を示した。実験でもそれぞれ 0.71 と 0.67 でほぼ同じ係数を示し、解析と同じく、ボルト径によってすべり係数は変化しなかった。なお、実験

と解析ではすべり係数の絶対値に差が生じており、接合面の処理性状の再現性に起因するものと考えられたが、原因は完全には突き止められなかった。一方、全てのケースで解析は実験を下回っており実験供試体で

再現している基準に則った施工品質の継手性能に対して解析は安全側の評価を与えているといえる。

解析では実験と同様に M24 と M22 ではすべり係数には明確な差はなく、F10T までの場合と同様に基準化にあたって、少なくとも M22 と M24 では同じすべり係数とできるものと考えられる。

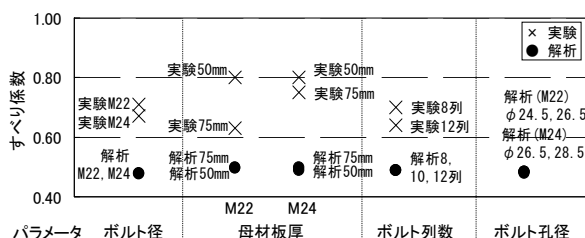


図-2 解析パラメータとすべり係数

(2) 母材板厚

母材板厚の相違(50mm と 75mm)の比較では、解析では、M22, M24 とともに母材板厚が大きい方がすべり係数が若干大きい結果となった。これは、 β が 0.32(50mm)→0.21(75mm)と小さくなるとともに、すべり荷重時の作用応力が低下し「ポアソン効果の影響で板厚が薄くなり、ボルトの軸力が抜けてすべり強度が低下する」割合が小さくなるという現象が忠実に反映された結果と考えられる。一方、実験では M22, M24 のいずれも板厚が大きい方がすべり係数が小さく両者の差がボルト径によっても大きく異なる結果となった。これは各ケースで生じている解析との差の原因と考えられる実験供試体の接合面処理効果のばらつきに比べて、ポアソン効果の影響は小さいためと考えられる。

なお実験に対して安全側の評価となっていると考えられる解析から得られたすべり係数に、板厚による相違はみられず、75mm までの厚板については 50mm の場合と同じすべり係数とできるものと考えられる。

(3) ボルト列数

解析では、8, 10, 12 の 3 種のボルト列数ですべり係数はほぼ同じ値となった。実験においても 8 列のすべり係数 0.70 に対して 12 列では 0.64 と 12 列の方がすべり係数が小さい結果となっているがその差は小さく他のケースにおける実験結果のばらつきと比べても 8 列と 12 列で有意なすべり係数の差はないものと考えられる。

以上より、少なくとも 12 列までであれば、8 列の場合と同じすべり係数を見込むことができる可能性が高いものと考えられた。

(4) 拡大孔

高力ボルト接合継手では、施工性の観点からボルト孔径を大きくすることが検討される場合がある。そのため M22 と M24 について、基準に定める孔径に対して直径 +2mm の拡大孔としたケースについて解析を実施し

た。結果は、すべり係数に明確な差は見られなかった。

図-3 に支圧応力が大きい M22 の拡大孔ケースについて、座金直下の連結板の相当応力分布図を示す。最大応力度は 329 N/mm² と降伏強度 355 N/mm² に対して小さく、ボルト導入軸力等施工のばらつきを考慮しても、+2mm までの孔径の拡大では母材と座金の接触部やその近傍で母材が降伏することによる継手効率の低下などの悪影響が生じる可能性は少ないものと考えられる。

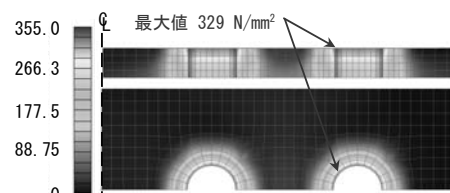


図-3 拡大孔における座金直下の相当応力分布図

2. 桁構造を対象とした FEM 解析

道路橋の継手では、標準すべりのような部材に一方の方向の引張りのみが作用することは少ない。そのため、過去に図-4 に示すように、鋼道路橋での実際の継手での使用状況下に近い環境(作用力)を模擬した桁曲げ試験を行っており、再現解析を行った。

図-4 に示すとおり、桁の曲げ変形の影響によって同じ下フランジでもボルト位置によって各ボルトの軸力変動に差が生じることが解析からも裏付けられた。また解析では実験における軸力変動がおおむね忠実に再現できており、連結部における各ボルトにかかる負荷の状況については、ボルト継手を適切にモデル化することで解析による推定が可能であることがわかった。

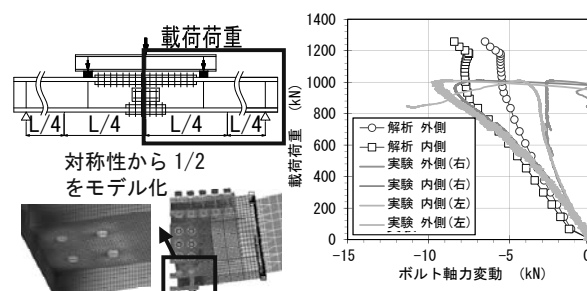


図-4 解析モデルとすべり直後の応力分布(桁曲げ試験)

【今後の課題】

実験が困難な大規模な継手やさらなる高強度のボルト継手の性能を解析によって精度よく評価できるためには、すべり係数の再現性の向上が不可欠である。

【参考文献】

- 1) (公社)土木学会：高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案)、平成 18 年 12 月

【成果の発表】

国総研資料及び各種論文で発表予定。

【成果の活用】

基準等に反映させる予定。

道路事業における総合評価落札方式の評価の実効性確保に関する検討

Study for the application of Overall Evaluation Bidding Method with Technical Proposal

(研究期間 平成 15～25 年度)

総合技術政策研究センター 建設マネジメント技術研究室
Research Center for Land and Construction Management
Construction Management Division

研究官 田嶋 崇志
Researcher, Takashi TAJIMA
部外研究員 白石 薫
Guest Researcher, Kaoru SHIRAISHI

室 長 森田 康夫
Head, Yasuo MORITA
主任研究官 大平 和明
Senior Researcher, Kazuaki OOHIRA
部外研究員 馬野 浩二
Guest Researcher, Koji UMANO
部外研究員 中村 啓史
Guest Researcher, Keiji NAKAMURA

The overall evaluation bidding method with technical proposal has merits such as improvement of quality of infrastructures through the competition not only by price bidding but also by advantage of technical proposal. The objective of this study is to develop measures for generalization and smooth application of the bidding.

〔研究目的及び経緯〕

国土交通省直轄工事において、平成 17 年度に「公共工事の品質確保の促進に関する法律」が成立したことを契機に、総合評価落札方式を導入し、現在の総合評価落札方式の適用率は約 100% となっている。(図-1)

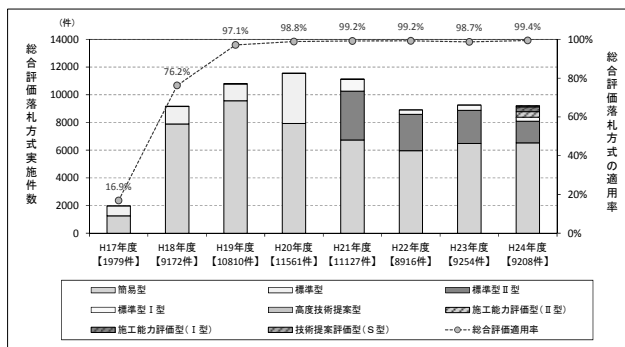


図-1 年度別・総合評価タイプ別実施状況(適用率・件数)

国土技術政策総合研究所では、国土交通省直轄工事における総合評価落札方式の運用上の課題改善に向けた検討を進めており、地方整備局等(北海道開発局、沖縄総合事務局含む)の総合評価落札方式適用工事を対象に、競争参加者・落札者等の動向や新たな施策の実施状況を調査し分析を行っている。

本稿では、平成 26 年 3 月に行われた「総合評価方式

の活用・改善等による品質確保に関する懇談会」において公表した平成 24 年度総合評価落札方式の実施状況等について述べる。

〔総合評価落札方式の実施状況〕

平成 24 年度の年次報告書では、タイプ別、工種別の詳しい分析を行い、より多角的な視点からの分析を行った。図-2 以降の集計対象工事は 8 地方整備局(港湾・空港を除く)としている。

① 1 工事あたりの競争参加者数

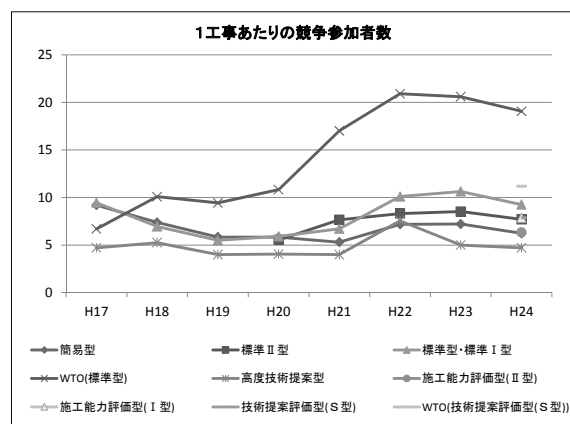


図-2 1 工事あたりの競争参加者数

図-2では、平成24年度と総合評価落札方式の適用が本格拡大した平成19年の1工事あたりの競争参加者数を比較すると全体的に増加している。

②落札者の「落札率-調査基準価格率」と「技術評価点の得点率」

(1) 経年変化

図-3の4枚が示す通り、平成18年度から平成24年度にかけて、徐々に落札率-調査基準価格率が0%に近付いており、価格についての競争が年々激しくなっていることが伺える。一方で技術評価点の得点率については経年変化では顕著な差は見られなかった。

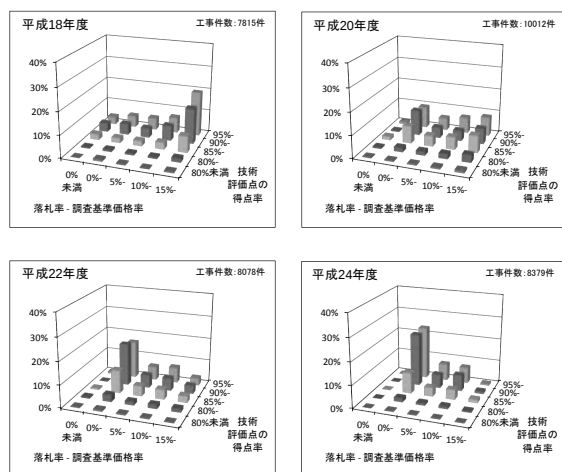


図-3 落札者の「落札率-調査基準価格率」と「技術評価点の得点率」(年度別)

(2) 工種別 (H24年度)

図-4では以下の4工種について分析する。一般土木、AS舗装、鋼橋上部、PCのいずれも、1工事あたりの工事金額が大きく、入札参加者も多い工種については、落札率-調査基準価格率が0%に張り付き、技術評価点の得点率も90%以上が大半であることから、価格、技術の両面でより激しい競争の入札が行われていることが分かる。特に鋼橋上部、PCについてはその傾向が特に顕著である。

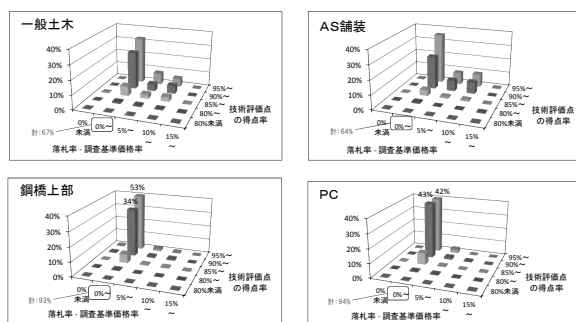


図-4 落札者の「落札率-調査基準価格率」と「技術

評価点の得点率」(工種別)

(3) 総合評価タイプ別 (H24年度)

図-5では以下の4タイプについて分析する。標準I型、WTO標準型は、落札率-調査基準価格率が0%付近へ集中している。特にWTO標準型については技術評価点の獲得率が他のタイプに比べて高い。WTO標準型は、一般的に工事規模が大きいこと、高い技術力が必要なこと、入札参加者が多いこと等から、価格面、技術面双方で、業者にとっては厳しい競争環境となっている。

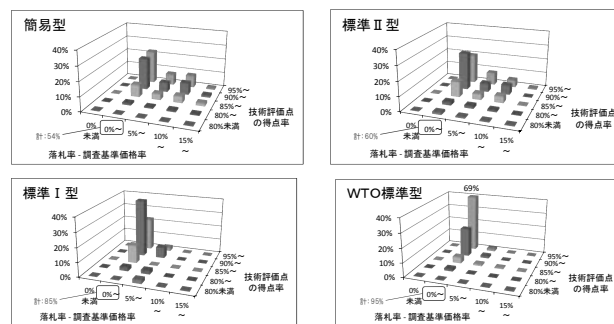


図-5 落札者の「落札率-調査基準価格率」と「技術評価点の得点率」(総合評価のタイプ別)

[今後の方針]

H25年度からは総合評価タイプの二極化の本格実施が行われる。次回は工事成績評定点、事務手続きの簡素化について等の新旧総合評価タイプの効果検証や更なるフォローアップの検討などを今後行っていく予定である。

[成果の発表]

「総合評価方式の活用・改善等による品質確保に関する懇談会」(第8回：平成26年3月11日開催)において公表した。

(<http://www.nilim.go.jp/lab/peg/index.htm>)

[成果の活用]

検討成果は、上記懇談会の資料に反映された。また、本分析結果は各地方整備局等において活用されることを期待するものである。

3次元CADデータに関する検討

Examination on three dimensional CAD data

(研究期間 平成 21～25 年度)

高度情報化研究センター 情報基盤研究室
Research Center
For Advanced Information Technology
Information Technology Division

室長

Head

主任研究官

Senior Researcher

研究官

Researcher

部外研究員

Guest Research Engineer Rei FUJITA

重高 浩一

Koichi Shigetaka

青山 憲明

Noriaki AOYAMA

谷口 寿俊

Hisatoshi TANIGUCHI

藤田 玲

Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism has been working on developing a technique to standardize and visualize 3D data. This research aimed to develop the technology for utilization and distribution of simple 3D-Data at phases of design, construction and maintenance in order to smoothly shift the phases from 2D to 3D-based.

〔研究目的及び経緯〕

建設事業では、CALS/EC の推進によって、調査設計業務や工事成果品の電子化、図面の CAD 化等、電子データによる情報交換や共有、保管、データの再利用が図られている。しかし、現場の実態として、未だ紙の資料や図面を基に業務が行われており、抜本的な業務の効率化には至っていない。

製造業では、CAD、CAM 等に 3 次元技術を導入することで、設計、製造の高度なシミュレーションや自動化を実現し、生産性向上に寄与している。一方、建設事業においては、3 次元 CAD の導入・普及には至っておらず、3 次元技術によって合理化された建設生産システムの導入による生産性の向上が喫緊の課題となっている。

本研究では、設計・施工・維持管理における業務の効率化を目的として、3 次元 CAD による設計、施工データの円滑な流通手法、および維持管理での利活用技術について検討と開発を行った。方針として、従来の 2 次元を基にした業務から 3 次元の利活用へ円滑に移行できるよう、簡易な 3 次元モデルや既存の CAD ソフトウェアによって 3 次元を活用できる技術の開発を目指した。以下に本研究の内容を示す。

〔研究内容〕

1. データ交換のための 3 次元モデル標準仕様（案）の運用を支援する技術資料の作成

本研究は、過年度に作成した LandXML1.2 に準じた 3 次元設計データ交換標準(案)（以下、「データ交換標

準(案)」という）を基に、設計段階で 3 次元の形状モデルを再現でき、かつデータ作成の負担が軽減されるデータ作成方法、およびソフトウェア上における 3 次元モデルの取り扱いに関する具体的な運用ルールを「3 次元設計データの作成方法と取り扱いに係る運用ガイドライン(案)」(以下、「3 次元設計データ運用ガイドライン(案)」という)として取りまとめた。

2. 設計から維持管理における 3 次元データの流通と利活用方法に関する検討

今年度は、過年度に実施した設計段階における橋梁 3 次元データの流通と利活用の現場試行成果を用いて、施工段階における橋梁 3 次元データの流通と利活用の現場試行を実施した。また、現場試行の施工者、発注者を対象としたヒアリング調査を実施して、効果と担当者負担、関係制度およびソフトウェア等の課題を整理し、対応策を検討するとともに、「橋梁 3 次元データ流通に係わる運用ガイドライン（案）」を修正した。

3. 既設橋梁を対象とした維持管理に用いる簡易 3 次元モデルの作成

過年度は、新設の橋梁を対象として、橋梁の維持管理で必要となる各種情報を 3 次元モデルによって統合管理するシステムのプロトタイプを構築した。今年度は、既設橋梁を対象として、過年度作成したプロトタイプの機能を保持する簡易で安価な 3 次元モデルの作成方法について検討し、それら簡易な 3 次元モデルを使うことによる維持管理の効率化について整理した。

〔研究成果〕

主な研究成果の概要を以下に示す。

1. 3次元設計データの運用ガイドライン（案）

設計段階における3次元設計データのデータ作成および取り扱いとして、3次元設計データ運用ガイドライン（案）には、「利用目的に応じたデータ作成方法」、「3次元設計データの照査方法」、「統一的なデータの取り扱い方法」を記載した。また、国内ベンダのCADソフトウェアにおけるLandXMLの取り扱い状況から、横断形状は断面定義パターンを用いるものとした。異なるソフトウェア間においても、自由度の高い属性項目が統一的に取り扱われるよう入力ルールを記載した。

さらに、3次元設計データ運用ガイドライン（案）の効果、影響、課題、妥当性や実運用性の確認として、各業界団体（6団体）へ意見照会を実施し、修正の要否とその理由などを意見照会対応表として取りまとめた。

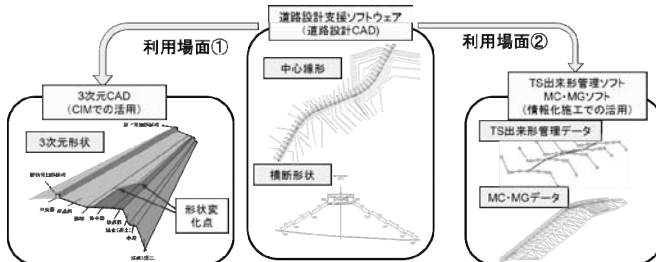


図-1 3次元設計データの取り扱いに関する運用ガイドライン(案)の適用範囲

2. 橋梁3次元データ流通に係わる運用ガイドライン

現場試行では、国総研が作成した「橋梁3次元データ流通に係わる運用ガイドライン(案)」に基づいた試行を実施した。

実施内容は、3次元データを用いた照査、設計から引き継いだ3次元座標値を基準とした下部工の施工、維持管理へ引き継ぐ監視用標点の設置、3次元データ（座標図）の更新である。

結果として、3次元座標図によって標高等が明記されていることから、設計照査が容易になることが確認できた。また、現場担当者の意見を基に運用ガイドラインについて「監視用標点の鉤には設置年月を記載する」と修正を行った。

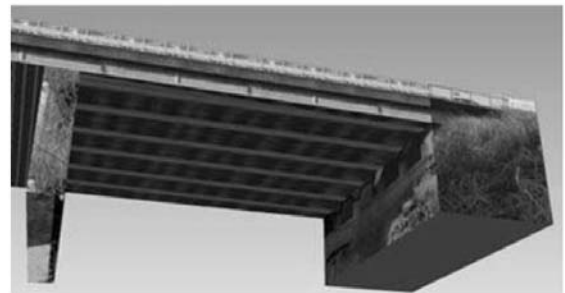
3. 既設橋梁の維持管理を対象とした簡易3次元モデルの作成

維持管理業務を通常点検・定期点検・維持管理計画策定、補修補強に区分した上で、それぞれの業務に対して現状の課題と3次元モデルの活用場面を抽出し、それぞれの目的に必要な3次元モデルの機能を整

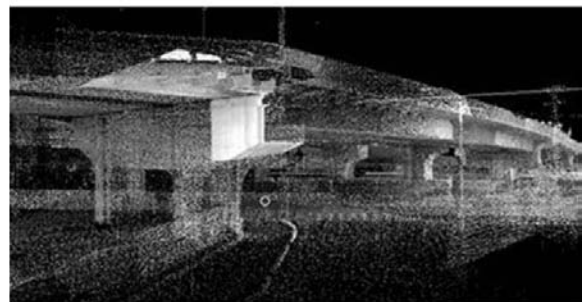
理した。

また、既設橋梁の空間的な位置関係を簡易かつ安価に表現できるモデル化技術を調査し、選定した10橋を対象として簡易3次元モデルのサンプルデータを作成した。

さらに、作成したサンプルデータに基づいて維持管理の担当者に、抽出した活用場面毎に3次元モデルによる業務改善効果についてヒアリングを実施し、その結果と、データ作成に費やした時間や費用等に基づいて各モデルケースを評価し、維持管理で役立つ3次元モデルについて整理した。



構造ブロックモデル



点群データ

図-2 既設橋梁の維持管理業務に活用する簡易3次元モデル(案)

〔成果の活用〕

「3次元設計データ運用ガイドライン(案)」は、設計段階および施工段階での土木構造物データモデルの作成と利活用に役立つと考える。「橋梁3次元データ流通に係わる運用ガイドライン(案)」については、現場試行によって座標図による3次元座標の流通が効果的である事を確認できた。既設橋梁の簡易3次元モデルを活用した維持管理では、今後現場での試行を通じてさらなる検証を実施していく。本成果が現場に反映されることで、業務の効率化や品質向上、維持管理の高度化に大いに貢献すると考える。

情報化施工に搭載するデータの効率的な構築及び取得データの利用に関する調査

Research on effective making Method of Input-data and Usage of Output-data for Intelligent Construction
(研究期間 平成 22～26 年度)

高度情報化研究センター
Research Center for
Advanced Information Technology
情報基盤研究室
Information Technology Division

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
研究官
Researcher

重高 浩一
Koichi SHIGETAKA
梶田 洋規
Hiroki KAJITA
長山 真一
Shinichi NAGAYAMA

It is necessary to perform the making of three-dimensional design data to input into Intelligent Construction Systems effectively and to use three-dimensional measurement data output by Intelligent Construction Systems to increase an effect of Intelligent Construction. In this study, it is one that can form of management using the TS, as an extension of application engineering species, and the examination for the introduction to the buried structure (road buried object factory).

〔研究目的及び経緯〕

国土交通省で取り組んでいる情報化施工は、「3次元CAD技術(3次元設計データ)、3次元位置計測技術、建設機器技術」を活用し、生産性向上・品質確保・技術者判断支援などの効果を得ている。しかし、施工者が情報化施工に搭載する3次元設計データの作成など、不慣れな点もあり多大な手間を要している。また、施工時に取得できる電子データを後工程(維持管理など)で有効活用できていないため、導入効果が施工場面に限られている。そのため、情報化施工に搭載するデータの効率的な構築方法と情報化施工で取得したデータを後工程で有効利用し効果を得る方法の構築が望まれている。

国土技術政策総合研究所では、情報化施工技術の1つとして、3次元測量機器であるトータルステーション(TS)を用いた出来形管理について研究している。

本研究では、TSを用いた出来形管理の、適用工種の拡大として、埋設構造物(道路埋設物工)への導入に向けた検討を行うものである。

〔研究内容・研究成果〕

1. TSを用いた埋設物管理の計測手法構築に向けた検討

道路埋設物工への導入に向けて発注者(管理者)や施工者に対してヒアリング等でニーズ調査を行い、効率的な計測手法の要求精度と利用効果を整理した。

(1)要求精度

平面方向：±10cm
深さ方向：±5cm

(2)利用場面と効果

表1 利用場面と期待される効果

利用場面		期待される効果
管理者	工事発注	試掘の効率化、事故の減少、工事発注後の設計見直しの減少(埋設物の近接して構造物を設置する場合)
	維持管理	占用工事への周知により、作業の効率化が図れる。(占用物(新規)の位置決定、設置作業)
施工者	工事準備	位置が明確であれば、早期着工が可能となる、試掘の効率化、事故の減少
	施工	掘削作業のスピードアップ

2. 計測手法の検討

上記の精度と効果を得るため、計測手法を確立するための検討を行った。

(1)管路工等の計測手法構築に向けた整理

曲線部を、「TSを用いた出来形管理」で効率よく計測する手法について、「基本設計データに登録した2点の間に出来形管理用TSソフトウェア計測時に任意箇所を追加する方法(案1)」(図1)と「基本設計データ作成時に出来形管理用基準の規格値を考慮し基本設計データ作成ソフトウェアが中間点を自動設定する方法(案2)」を比較し精度や作業手間と共に難易度等を整理した。ここでの基本設計データとは、発注図書を元に出来形管理用TSに入力するために作成した3次元データである。

1)作業性と計測精度

案1と案2の作業時間を比較すると、案1の方が少ない結果となっている。要因としては案1はデータの作成時に測点箇所数に応じて、横断構成を定義する必要がないことや出来形管理計測時に誘導の手間がないことがあげられる。

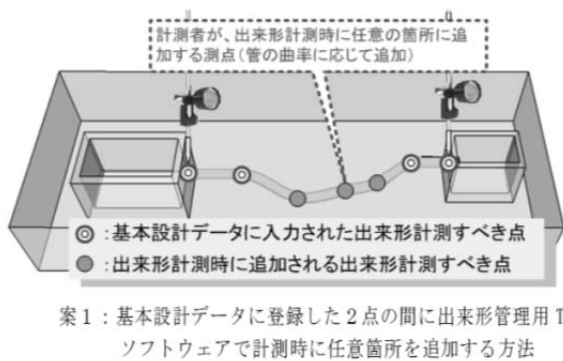


図1 計測手法案(例)

2)難易度

データ作成時には案1と案2に大きな難易度の違いは見られなかった。

出来形計測時では、案2では、現場で埋設管の敷設箇所が変更になり、設計データと計測場所が異なる場合に、設計値から乖離することにより現地でのTS操作が増えるため難易度が高くなるため、案1の方が容易である。

3)コスト

案1は現場で計測する箇所を追加する機能が必要になるためソフトウェアの開発コストがかかる。また、案2では現在運用されている基準・要領等に対応できるため安価となる。

以下に1)～3)の比較整理表(表2)を示す。

(2)小規模埋設物工事へ向けた検討

占用者の小規模工事は、費用と技術力がネックとなりTSの導入が困難と想定される。このため従来手法から簡易に施工管理データを構築する方法を検討した。

検討では、要素実験を行い、考案した3手法(図2)について作業性、計測精度、難易度、コスト等を比較検討した。

検討の結果、各方法ともにデータの構築は可能だが、作業性ではCAD等の知識が必要であることや、コストでは新たな機能のソフト開発が必要である等の課題を確認した。

3. 今後に向けて

本年度はTSを導入しない埋設物の施工管理データの簡易な構築方法を検討した。作業性に関して埋設物工事では日々の施工進捗が10m～20mと少ない場合もあり、TSでの出来形管理を行っても、機器設置等の時間を要するため従来手法よりも作業性の向上が難しい。また、座標管理のため工事基準点設置作業も増加する。しかし、TSによって正確なデータを取得できれば、試掘位置の目安が提示されて作業効率率は向上し、また工事事事故の減少には有効だと考える。

本手法の確立に向け、今後、作業上および運用上での汎用性が高い工種に対応した計測手法による問題解決が必要であり、業界団体等の関係者に意見交換を進めながら、計測手法および要領等を検討していきたい。

表2 提案手法の比較整理

	案1：基本設計データに登録した2点の間に出来形管理用TSソフトウェアで計測時に任意箇所を追加する方法	案2：基本設計データ作成時に出来形管理用基準の規格値を考慮し基本設計データ作成ソフトウェアが中間点を自動設定する方法
概要	● 曲率と曲線長から要求精度を満たす計測頻度の目安を示すことによって、計測時の任意箇所の頻度を設定することができる	● 曲率と曲線長から要求精度を満たす計測頻度の目安を示すことによって、設計データ作成時に自動的に出来形管理箇所を任意の頻度を設定することができる
作業性	◎ 計測頻度4点では、案2に比べて3割程度作業時間が短くなる。計測頻度が増えるに従って、案2に対する効果は高い。	△ 計測頻度4点では、案2に比べて3割程度作業時間が掛かる。
難作業度の	○ ・現場で計測箇所が決定できるため、設計データ作成時の出来形計測箇所設定や計測時の誘導の負担が少ない。 ・現場の設置形状に合わせて変化点を計測すればよいいため、作業しやすい。	△ ・設計データ作成時の出来形計測箇所設定や計測時の誘導の負担がある。 ・設計データで決定した箇所に誘導する必要がある、管の線形を変更した場合の計測ができない場合も懸念される。
精計度測	◎ 適切な計測頻度で実施することで、20mm程度で計測可能	◎ 適切な計測頻度で実施することで、20mm程度で計測可能
調達性	△ 案1に対応する出来形管理用TSソフトが必要となる。これから開発が必要である。	○ 効率的なデータ作成のためには、ソフトウェアを修正する必要があるが、計測頻度の目安の頻度で曲線部の測点間隔を設定することで、現状のソフトウェアでも対応可能である。
運用の	△ 任意の計測位置によって、設計値が変化するため、想定する延長にならない場合もある。	△ 現場で埋設管の敷設箇所が変更になった場合に、設計時の計測箇所と異なるため、設計値の乖離する場合がある。
コスト	△ 実現するためには、データ交換標準(案)、要求仕様書等の修正が必要であり、ソフトウェア開発が必要である。	○ 実現するためには、計測頻度の目安に対して、自動的に測点を設定する機能が必要である。案1のソフト開発よりは軽微と考えられる。

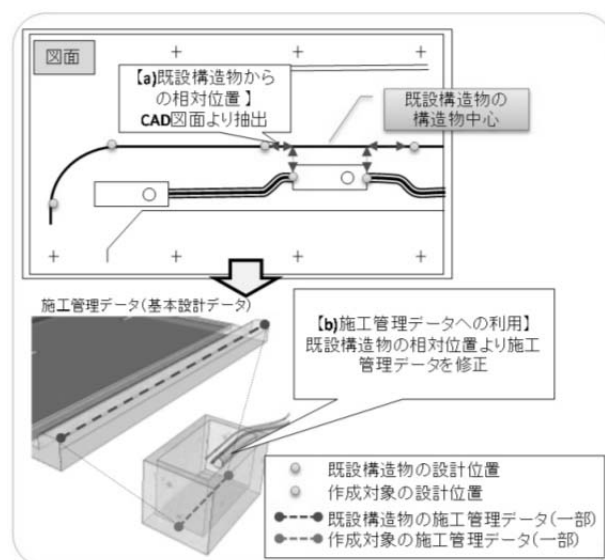


図2 考案した構築手法(1例)

道路橋に作用する津波外力の検討

Study on tsunami wave force acting on highway bridges

(研究期間 平成 24～26 年度)

危機管理技術研究センター地震防災研究室
Research Center for Disaster Management
Earthquake Disaster Prevention Division

室長 金子 正洋
Head Masahiro KANEKO
主任研究官 片岡 正次郎
Senior Researcher Shojiro KATAOKA
主任研究官 長屋 和宏
Senior Researcher Kazuhiro NAGAYA

Damage to a large number of bridges by the 2011 Tohoku tsunami caused harmful effects on the disaster area. This study aims to investigate characteristics of tsunami action on highway bridges based on the experience during the Tohoku tsunami towards formulation of design tsunami load.

〔研究目的及び経緯〕

東日本大震災では多数の橋梁が被災し、特に津波による上部構造の流出は交通機能に大きく影響した。道路橋示方書Ⅴ耐震設計編（平成 24 年 2 月改定）では、桁下空間の確保など津波の影響を考慮した構造計画を行うことが規定された一方、津波の影響が避けられない場合に設計で必要となる具体的な津波作用は示されていない。本研究は、東日本大震災の被災事例の分析および津波作用の推定手法の検討を進めるとともに、設計に用いる津波特性の考え方、設定手法等の検討を行うものである。

25 年度は、各種観測記録や調査結果の再現性が向上するよう粗度係数の調整等を行った上で、東北地方太平洋沖地震津波の伝播・遡上解析を実施した。橋梁上部構造の流出には津波の波高と流速が影響するが、これらを津波伝播・遡上解析で算出するには波源・地形のモデル化等の負荷が大きい。そこで、波源からの距離や地形が波高と流速に影響する度合いをそれぞれ分析することにより、各地点の波高と流速を簡易に推定する手法の構築を試みた。

〔研究内容〕

1. 東北地方太平洋沖地震津波の伝播・遡上解析

津波遡上解析の対象地域は津波の影響を受けた道路橋が多く存在する地域を中心に、①分析に用いる動画が十分に揃っている地域（100 程度存在する数多くの動画記録の中から、波高、流速、波形の計測が可能な動画を抽出）、②断層からの位置関係をなるべく網羅するように（南北方向に偏りなく）選定する。③海岸地形特性、湾及び陸域の方向、形状特性を網羅するように 10 地域を選定した（図-1）。

解析条件は国土交通省「津波浸水想定の設定の手引き」に従って設定し、平面 2 次元解析による津波伝播遡上解析を行った。計算格子間隔は沖合から沿岸に向かって 810m→270m→90m→30m→10m と細かく設定した。東北地方太平洋沖地震津波に対して、藤井・佐竹モデル、東北大学モデル、内閣府モデルの 3 波源モデルが提案されているが、比較評価した結果、断層推定のインバージョンを津波波形のみでなく地殻変動や津波痕跡を含めた多くの資料を基に総合的に精度が高いと考えられる内閣府モデルを採用した（図-2）。解析結果は GPS 波浪計の観測結果や津波痕跡高と比較して実測記録の再現精度を整理した。

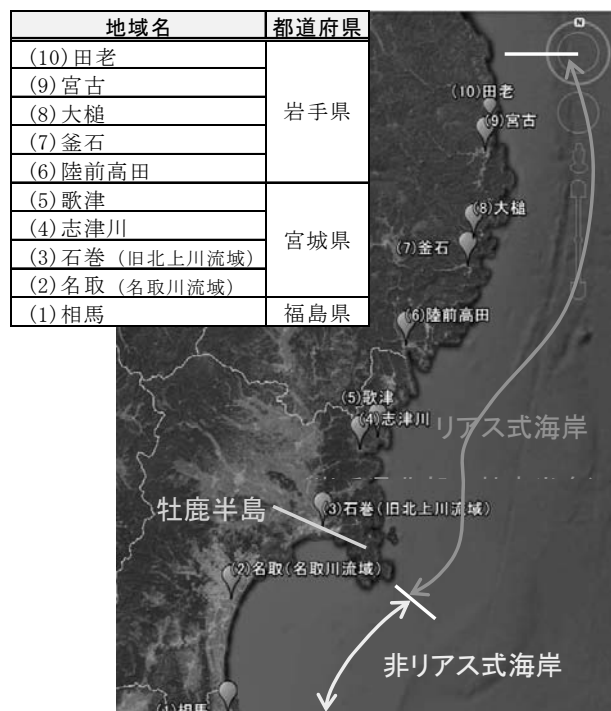


図-1 検討対象地域の選定

2. 津波の波高・流速の簡易評価法

津波痕跡データベース(<http://tsunami-db.irides.tohoku.ac.jp/>)の中から最大痕跡高が大きく、信頼度の高い痕跡高が十分な津波地震として、1707 年宝永地震津波、1896 年明治三陸地震津波、1944 年昭和東南海地震津波を選定し、1. と同様の方法で津波伝播・遡上解析を行った。その上で、湾口部での波高・流速の評価、湾内での波高・流速の増加率について、既往の研究や水理公式をもとに検討した。

〔研究成果〕

1. 東北地方太平洋沖地震津波の伝播・遡上解析

解析で得られる沿岸・陸域での津波高さは粗度係数に影響されるため、痕跡調査結果と解析結果が整合する粗度係数を地域ごとに設定した。整合性の指標として一般的である相田(1977)の幾何平均 K と幾何標準偏差 κ を用いた。いずれの指標も 1 に近いほど整合性が高いと評価される。表-1 に例を示すが、釜石では防波堤をモデル化することにより解析精度が大きく改善されている。この他、GPS 波浪計、浸水面積、動画記録と解析結果を比較し、波高、流速ともある程度の精度で再現できていることを確認した。

2. 津波の波高・流速の簡易推定式

湾口部の波高 H_0 の推定式としては、既往の研究とケーススタディの結果を参照して X が小さい領域では地震規模に依存する一定値に飽和、それ以外では $\log H_0 = aM' - b \log X - c$ の式形を採用した。ここで、 M' はすべりの鉛直方向のみ考慮した地震規模、 X は波源域からの距離である。係数 a , b , c は解析値に対する幾何平均 K と幾何標準偏差 κ が 1 に近くなる値を検討した結果、次式が得られた。解析結果と比較して図-3 に示す。

$$\log H_0 = 1.5M' - \log X - 9.68 \quad (1)$$

湾口部の流速 U_0 は、最大波高 η と水深 h による長波の流速式 $U_0 = \eta (g/h)^{1/2}$ と解析結果を比較した結果、図-4 のように、流速が大きいとやや推定式が大きいのものの、ほぼ $\pm 0.5 \text{ m/s}$ の範囲に入ることがわかった。

湾内での波高増加率 A_H はグリーンの式 $A_H = (B_0/B)^{1/2} (h_0/h_1)^{1/4}$ をもとに、湾内の推定地点の水深 h をパラメータとして解析結果との整合性を検討した結果、 $h=10 \text{ m}$ の場合に最も整合性が高くなった。ここで、 B_0 と h_0 は湾口部の湾幅と水深、 B は推定地点の湾幅である。また、湾内での流速は、概ね湾口部の流速の 0.5 ～1.5 倍程度であるが、推定地点の背後に遡上域がある場合に湾口部の流速よりも 2.5 倍程度大きくなる傾向が得られた。

以上のように、ばらつきはみられるものの、湾口部での波高と流速は式(1)と長波の流速式で推定することができる。一方、湾内や遡上域での津波特性の変化はより複雑であり、今後も検討を進める必要がある。

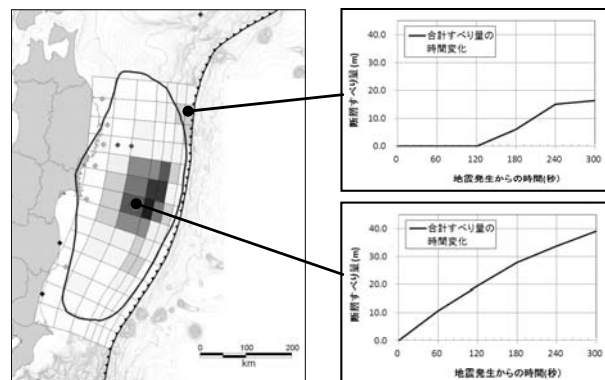


図-2 東北地方太平洋沖地震の津波波源モデル（内閣府）

表-1 粗度係数の設定例(*は防波堤を考慮したケース)

	$n=0.025$		$n=0.04$		$n=0.04^*$		$n=0.06$		$n=0.08$	
	K	κ	K	κ	K	κ	K	κ	K	κ
志津川	0.89	1.11	0.91	1.10			0.94	1.09	0.97	1.08
陸前高田	0.95	1.15	0.98	1.18						
釜石	0.61	1.29	0.62	1.27	1.04	1.25				

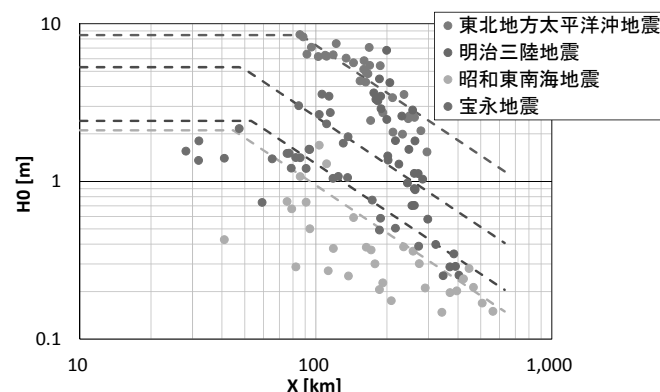


図-3 湾口部での波高の解析結果と推定式の比較

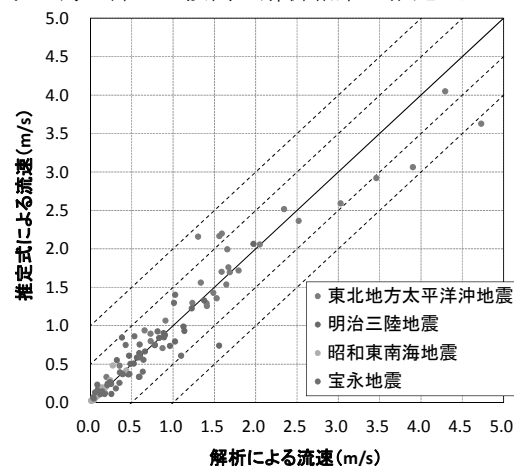


図-4 湾口部での流速の解析結果と長波の流速式の比較

〔成果の発表〕

巨大津波の基本特性の把握と対津波設計への活用、防災・減災に向けた研究成果報告会，2014.

津波越流後に交通機能が保持された道路橋の地震・津波応答再現解析，土木学会論文集 A1, Vol. 70, No. 4, pp. I_1043-I_1051, 2014.

巨大地震を対象とした設計地震動の検討

Study on design earthquake motion for giant earthquakes

(研究期間 平成 23～26 年度)

危機管理技術研究センター地震防災研究室
Research Center for Disaster Management
Earthquake Disaster Prevention Division

室長	金子 正洋
Head	Masahiro KANEKO
主任研究官	片岡 正次郎
Senior Researcher	Shojiro KATAOKA
主任研究官	長屋 和宏
Senior Researcher	Kazuhiro NAGAYA
研究官	梶尾 辰史
Researcher	Tatsushi KAJIO

Giant earthquakes resulting from the Nankai trough and long active faults are under growing apprehension. This study aims to investigate characteristics of ground motion during the giant earthquakes and propose Level 2 earthquake motions taking account of the characteristics.

〔研究目的及び経緯〕

道路橋の耐震設計に用いる設計地震動に関して、大規模なプレート境界地震の発生を考慮した地域区分と地域別補正係数への改定が実施される一方で、南海トラフ巨大地震や長大活断層の活動による地震の発生も懸念されている。これら巨大地震については、既存の地震動推定手法の適用性が十分には検討されていないことから、本研究は国外の事例を参照しつつ検討し、設計地震動の改定案としてとりまとめることを目的とする。

25 年度は、地震動推定式の巨大地震への適用性を検討し一層の改良を図るとともに、内閣府が公表している南海トラフ巨大地震の基盤地震動から地表の地震動を試算し現行道路橋示方書のレベル 2 地震動と比較した。また、強震観測施設の維持管理を行い強震記録の取得を継続した。

〔研究内容〕

1. 地震動推定式の改良検討

過年度収集したデータに加え、2013 年 4 月 13 日に発生した淡路島の地震 (M6.3) 等の強震記録を収集・整理し、東北地方太平洋沖地震を含む巨大地震に適用可能となるよう、地震動推定式の改良を検討した。

地震動強度が地震規模とともに単純には増大しないことから、マグニチュードの 1 次の項に加えて 2 次の項を考慮した地震動予測式を作成した。

2. 南海トラフ巨大地震の地表地震動の推定

内閣府より南海トラフ巨大地震の工学的基盤面における推定地震動データを入手し、表層地盤の地震応答

解析により地表地震動を試算して現行道路橋示方書のレベル 2 地震動と比較した。

3. 強震観測施設の維持管理・観測記録の処理

強震観測施設が地震発生時に適切に道路施設の挙動を観測、記録できるように、機器の状態を良好に維持するための点検を実施した。感震器および収録装置の動作を点検するとともに、収録装置に保存されている観測記録を回収し、数値化などの一次処理を行った。

〔研究成果〕

1. 地震動推定式の改良検討

最近発生した新たな地震の強震記録を加えて計 3854 観測点で得られている 95175 記録を整理し、地震動強度や震源距離等の基準で回帰分析に用いる強震記録を選別した結果、136 地震の 13311 記録を用いることとした。最大加速度、最大速度、SI 値、計測震度の 4 指標を対象に、マグニチュードの 2 次の項を含む次の回帰モデルを用いた回帰分析を行い、地震動推定式を作成した。

$$\log_{10} Y = a_1 M_w + a_2 M_w^2 + a_3 D - bX + c_0 - \log_{10}(X + d \cdot 10^{0.5M_w}) + c_1$$

ここで、 Y は地震動強度、 M_w はモーメントマグニチュード、 D は震源深さ [km]、 X は断層最短距離 [km]、 a_1 , a_2 , a_3 , b , c_0 , d は回帰係数、 c_1 は観測点ごとの揺れやすさを補正する係数である。

作成した地震動推定式による SI 値の推定結果と東北地方太平洋沖地震の観測値を比較したものが図 -1 である。観測値のばらつきは大きいものの、推定式は観測値の平均的な傾向をよく表している。マグニチュードの 2 次の項がない従来の式はやや過大評

価の傾向がある。今回作成した地震動推定式はマグニチュード 7～8 級の地震の観測値にも良く適合しており、幅広い地震動予測に適用可能である。

2. 南海トラフ巨大地震の地表地震動の推定

南海トラフ巨大地震の際に強い地震動の発生が予測される中部地方から九州地方の太平洋沿岸地域で、ボーリング資料等が存在する地点を対象に地表地震動を推定した。

南海トラフ巨大地震の基盤地震動は、基本ケースと陸側ケースとよばれる 2 種類の震源モデルを用いた結果が公表されている。陸側ケースは震源域のなかでも強い地震動を生成する領域（強震動生成域）が陸側に寄って配置された震源モデルであり、基本ケースよりも強い基盤地震動が予測されている。表層地盤の地震応答解析に用いる入力波形は、基盤地震動の水平 2 成分を合成した速度波形の振幅が最大となる方向の合成波とした。

表層地盤の地震応答解析には、等価線形化手法と逐次非線形解析手法の 2 つの手法を用いた。2 つの手法で得られた結果に大きな違いはなかったが、後者の方がやや強い地表地震動となった。図-2 には逐次非線形解析手法で得られた結果の例を示す。ここではⅡ種地盤の 10 地点で推定した地表地震動を現行道路橋示方書のレベル 2 地震動と比較している。図の(a)は震源モデルが基本ケースの場合であり、推定した地表地震動は現行のレベル 2 地震動を少し超えている部分もあるがほぼ包絡されている。

一方、震源モデルが陸側ケースの図(b)では周期 1.5s 以上で現行のレベル 2 地震動を上回る地震動が推定されている地点も見られる。多くの地点では現行のレベル 2 地震動に包絡される程度の地震動となっていることから、特に強い地震動が推定された地点の地震動増幅特性等も踏まえつつ、設計地震動の改定必要性を検討する必要がある。

3. 強震観測施設の維持管理・観測記録の処理

強震観測施設の点検の結果、多くの箇所では感震器、収録装置とも良好な状態で稼働していることを確認した。不具合や劣化が見られた一部の機器については、状況に応じて修繕、更新を行った。一次処理後の観測記録はデータベースに保存し、振幅の大きい一部の記録は 1. の検討に用いた。

【成果の発表】

Preliminary analysis on seismic input loss at a pile foundation, Proceedings of the 29th US-Japan Bridge Engineering Workshop, pp. 341-349, 2013.

【成果の活用】

次期道路橋示方書の改定に反映

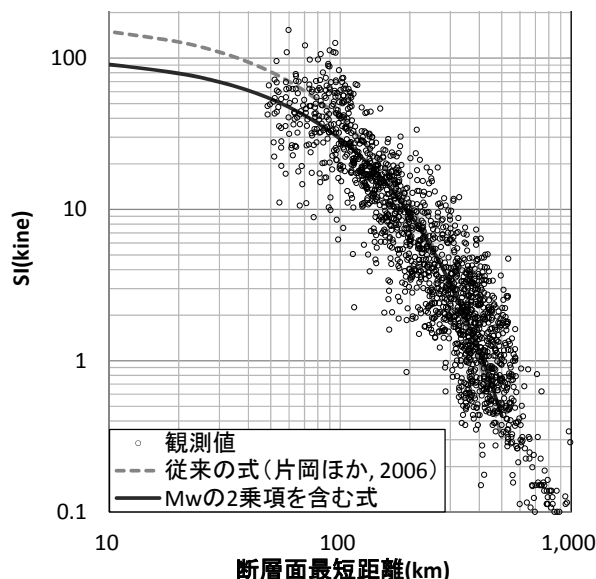
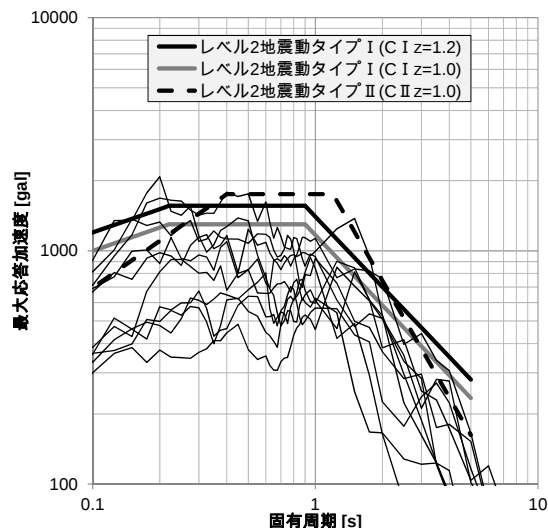
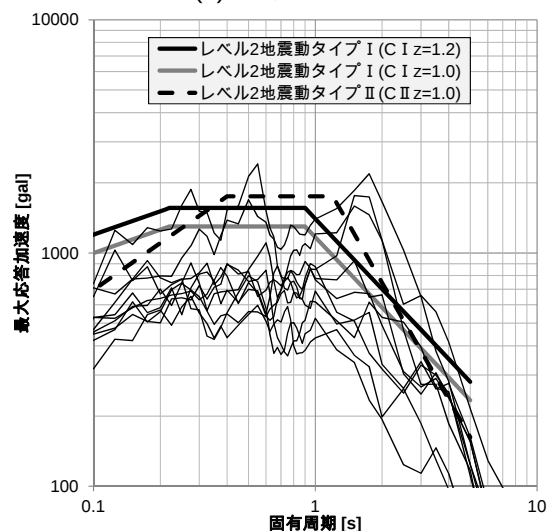


図-1 推定式と東北地方太平洋沖地震の観測値の比較



(a) 基本ケース



(b) 陸側ケース

図-2 南海トラフ巨大地震の地表地震動の推定結果と道路橋示方書のレベル 2 地震動の比較