

部分係数設計法の適用性拡大に関する調査検討

Study on improvement of 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 中洲 啓太
Senior Researcher Keita Nakasu
研究官 野村 文彦
Researcher Fumihiko Nomura

室長 玉越 隆史
Head Takashi Tamakoshi
研究官 横井 芳輝
Researcher Yoshiteru Yokoi
交流研究員 氏本 敦
Guest Research Engineer Atsushi Ujimoto

NILIM studied on bridge performances for the current specifications by broadening subjects of bridge scales, focused members, and focused section forces, and studied on effects of differences of uncertainty conditions of load and resistance sides on partial factors. Moreover, in order to establish setting methods of partial factors to be used for repair and reinforcement design of existing bridges, trial calculations on effects of changes of design working life and characteristics of the regions were conducted.

〔研究目的及び経緯〕

道路橋の設計基準である道路橋示方書について、現在、許容応力度設計体系から部分係数設計法を基本とする体系への転換作業が進められている。

過年度までに、これまでの道路橋示方書で考慮されていた外力等の作用の特性を最新の統計データ等に基づいて再評価するとともに、代表的な橋梁形式の主要部材において許容応力度設計による場合に確保されていた耐荷力性能について、設計供用期間との関係における非超過確率等の信頼性の観点からの分析を行った。

今年度は、橋梁規模や着目部材、着目断面力等の分析対象を広げ、現行道路橋示方書による橋の性能について分析を行うとともに、作用側（外力等）及び抵抗側（材料品質や強度特性等）の不確実性の条件の相違が部分係数に及ぼす影響について検討を行った。また、既設橋の補修補強設計に用いるための部分係数の設定方法を確立するために、設計供用期間や地域特性等をパラメーターとして、その変化が荷重係数に及ぼす影響についての試算を行った。

〔研究内容及び研究成果〕

1. 部分係数設計法を用いた道路橋の試設計

部分係数化の影響を把握するため、現行の道路橋示方書による詳細設計が完了している橋梁（計24橋：鋼橋16橋、PC橋8橋）を対象に、過年度までの試算において、現行の道路橋示方書に近い応答が得られる可能性が高いものとして仮設定した部分係数を用いて設計した場合の比較を行った。試設計の対象橋梁は、代表的な形式等の橋梁のうち、過年度に着目した形式以外の

橋梁、将来の動向も考慮して橋長が長い橋梁等を対象とした。図-1に、検討フローを示す。

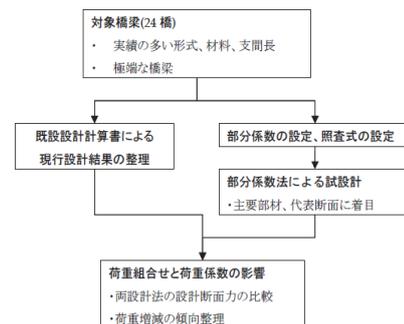


図-1 試設計の検討フロー

図-2に、過年度に着目した形式以外の代表的な橋梁（2径間連続非合成桁）及び橋長が長い橋梁（3径間連続ラーメン箱桁橋）を対象とした、部分係数設計法を用いた試設計結果と現行設計結果との比較例（設計断面力及び荷重組合せ内訳）を示す。図-2(a)の端支点せん断力の場合、現行同等規模の断面を実現する荷重効果の内訳は荷重シミュレーションで抽出された部分係数による場合とほぼ一致するのに対して、図-2(b)の中央径間曲げモーメントでは、両者で荷重効果のシェアに明らかな相違が見られる。このように、許容応力度設計体系の現行基準において実現している部材断面等の安全余裕は、橋梁規模や形式のみならず、部材種類、位置、着目する応答によっても、設計供用期間において発生することの確からしさの観点からは、統一的な基準で整理できない状況にあることがわかる。

また、現行の道路橋示方書において荷重組合せ毎に

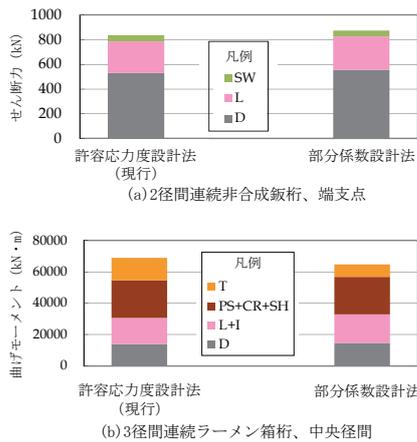


図-2 部分係数設計法を用いた試設計結果と現行設計結果の比較（設計断面力及び荷重組合せ内訳）

異なる値が考慮される安全率や許容応力度の割増係数が、作用側及び抵抗側の信頼性とどのような定量的関係にあるのかについては明確ではない。そこで、許容応力度の割増係数を作用側と抵抗側のそれぞれに全て考慮した場合に部分係数がどのように影響を受けるのかについて試算を行い、現行基準の安全率の特徴について検討した。

図-3に、下部工における現行基準断面力の非超過確率及び信頼性指標 β の試算結果の例を示す。断面決定に支配的となる荷重の組合せパターンによって信頼性（安全余裕）が異なる傾向が見られ、割増係数相当の安全余裕を荷重側と抵抗側のどちらで考慮するのかわからず、現行の道路橋示方書で考慮されている荷重組み合わせの状況は、非超過確率（設計供用期間にそういった状況が生起しない確率）の観点からは大きな幅を持つ可能性があることが確認できた。

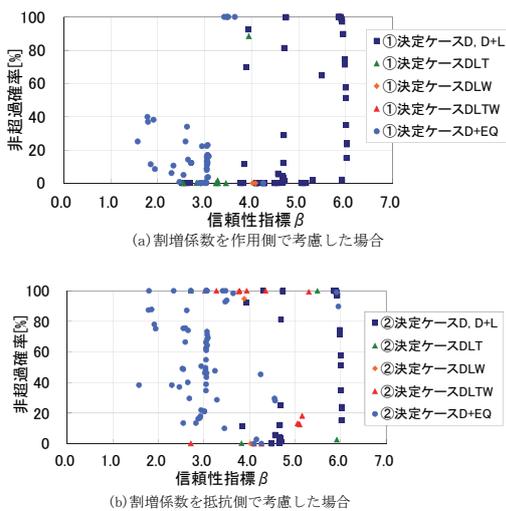


図-3 100年最大値分布における現行基準断面力の非超過確率及び信頼性指標 β の傾向分析例（下部工）

2. 部分係数法を用いた道路橋の補修補強設計に関する基礎的試算

現行の道路橋示方書による詳細設計が完了している橋梁（計12橋：鋼橋8橋、PC橋4橋）を対象に、補修補強設計で部分係数法を適用することを想定し、新設設計の基本ケース（設計供用期間100年、大型車混入率50.4%）として仮設定した部分係数をそのまま用いた場合の試設計結果に対して、設計供用期間や風荷重の条件変化を想定して設定される部分係数を用いた場合の試設計を行い、両者の比較を行った。

図-4に、設計供用期間（100年、25年、5年）及び風荷重の特性（基本風速 U_{10} が45m/s（C）、40m/s（B）、及び35m/s（A））の違いによる荷重係数の感度の試算例を示す。図-4(a)では、設計供用期間の変化に応じて、地震荷重及び活荷重の荷重係数が顕著に影響を受けることがわかる。また、年最大値がほぼ同規模となる活荷重に比べ、地震荷重では荷重係数がばらつく可能性があることがわかる。図-4(b)において、風荷重特性の相違を考慮した場合、同時に発生する可能性が比較的高い地震荷重との組み合わせによって両者の係数が大きくばらつく可能性がある。このように、道路橋について実際に生じ得る設計状況をできるだけ忠実に表現する方法による部分係数化によって、様々な設計条件に応じた合理的に荷重強度を設定でき得ることが示された。

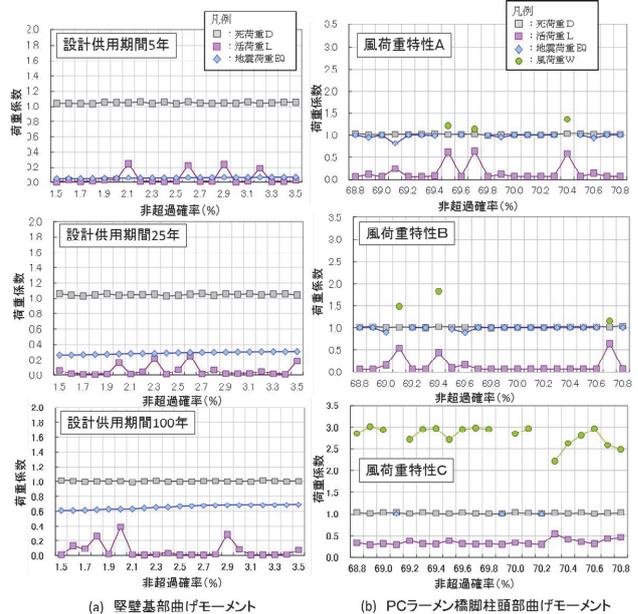


図-4 設計供用期間及び風荷重特性の違いによる荷重係数の感度の試算例

[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ものである。

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 safety factors setting method depending on the structural analysis model

(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 中洲 啓太
 Senior Researcher Keita Nakasu
 研究官 横井 芳輝
 Researcher Yoshiteru Yokoi
 交流研究員 氏本 敦
 Guest Research Engineer Atsushi Ujimoto

室長 玉越 隆史
 Head Takashi Tamakoshi
 研究官 石尾 真理
 Researcher Mari Ishio
 交流研究員 吉川 卓
 Guest Research Engineer Taku Yoshikawa

In order to apply the FEM model to the new design of the highway bridges, the condition of models and the relations with the result is under consideration. In this term, girder bridges, arch bridge, truss bridges, and prestressed concrete box-girder bridges are conducted trial calculations use several way by FEM and compared the result and the standard value.

[研究目的及び経緯]

道路橋示方書などの設計基準では、許容値などの規定が、はりや格子等の単純化された解析モデルによって求まる計算値との照合を前提として、定められていることが多い。そのため、実務において FEM 等の精緻な解析モデルを用いても、計算した結果を直接的に技術基準の許容値等と対比して照査することが難しい場合がある。また、基準との対比のために計算結果を処理する方法によって、評価が異なる可能性もある。

本研究では、FEM 等の代表的な数値解析手法による計算結果と技術基準の許容値との関係を明らかにし、解析手法に応じて適切に基準との対比が行える方法について検討する。平成 23 年度は、代表的な道路橋形式（鋼桁、コンクリート箱桁、鋼トラス、鋼アーチ橋）の FEM 解析で得られる計算結果に対して、許容値と対比するために行う（例えば、局部応力の平均化方法などの）処理方法の違いが、評価結果に及ぼす影響について検討した。

[研究内容]

(1) 鋼桁橋

鋼桁橋では、FEM と格子モデルによる比較を行った。解析は、図-1 に示す 3 径間連続鋼 I 桁橋を基本の構造とし、フランジ厚・ウェブ厚・桁高・床版との合成・床版の有効幅・二次部材の有無をパラメータとし、全 20 ケースで実施した。また、FEM では各ケースで算出された要素ごとの応力について、7 パターンの処理方法で比較した。

(2) PC 箱桁橋

PC 箱桁橋を対象として、FEM と棒モデルによる比較を行った。解析は、図-2 に示す橋梁諸元を基本の構造とし、上床版に対するウェブ厚・下床版に対するウェブ厚・ハンチ勾配をパラメータとし、全 12 ケースで実施した。また、FEM では各ケースで曲げモーメント、せん断力、斜引張応力度について、それぞれ処理方法を設定し、比較した。

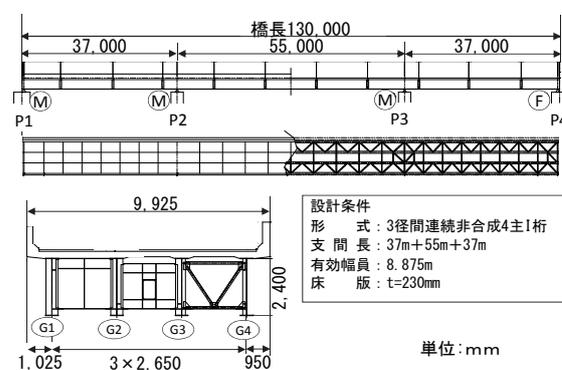


図-1 基本とする橋梁諸元 (3 径間連続鋼桁橋)

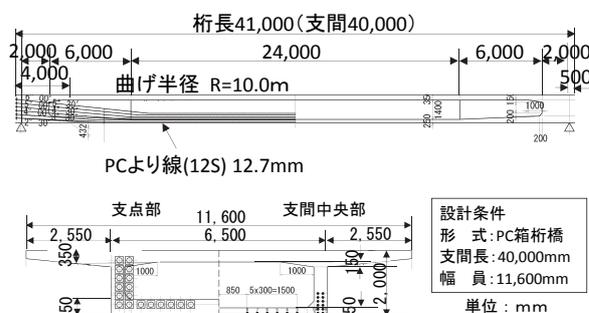


図-2 基本とする橋梁諸元 (PC 単純箱桁橋)

[研究成果]

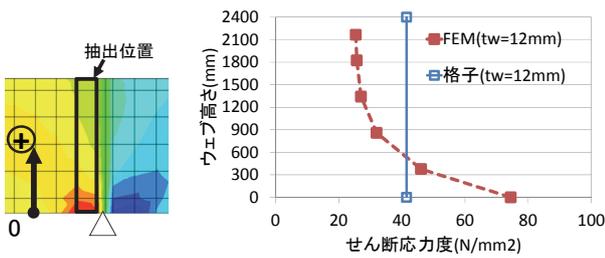
(1) 鋼桁橋

ウェブ厚・桁高をパラメータとした解析ケースを、表-1 に示す。せん断応力度を図-3(a)に示す抽出位置で比較すると、同(b)に示すとおり、FEM ではウェブ高さ位置に応じて変化しており、格子モデルとは分布形状が異なることがわかる。また、表-2 に示すとおり、主桁ウェブ厚(t_w)に対して主桁フランジ厚(t_f)が厚くなるほど、ウェブに発生する最大せん断応力度は大きくなることがわかる。このように、同じ位置の応力分布が構造によって大きく異なり、それらを忠実に出力する FEM 解析では、抽出対象要素の取り方や範囲によって評価が大きく左右されることがわかる。

そこで、主桁と横桁の接合部や中間支点上など応力集中が生じる部位の FEM 解析応力の処理方法を変えて、格子モデルとの比較を行った。図-4 に、支点からの距離を変えたウェブ断面①-1, 2, 3 (支点から桁高の 0.13 倍, 0.2 倍, 0.43 倍それぞれ離れた地点) の最大応力を算出した結果を示す。なお、せん断断面面積比 A_f/A_w として無次元化している。断面①-1, 2 では、構造が急変する部位近くであることから格子モデルよりも大きなせん断応力となり、せん断断面面積比による応力の変化傾向も異なる。一方、断面①-3 では、せん断応力は格子モデルと近い評価が行える結果となった。

表-1 解析ケース

パラメータ	フランジ厚 t_f (mm)	web厚 t_w (mm)	桁高 h (m)	指標 (A_f/A_w)
ウェブ厚変化	40	16	2.4	0.66
		12		0.88
		9		1.17
桁高変化	40	12	2.4	0.88
			2.0	1.05



(a) 抽出位置 (b) 抽出位置の要素応力

図-3 中間支点上 Web のせん断応力

表-2 ウェブ厚とせん断応力の関係

ウェブ厚(t_w)	せん断応力コンター図
16mm ($t_f/t_w=0.75$)	
12mm ($t_f/t_w=1.0$) ※基本ケース	
9mm ($t_f/t_w=1.3$)	

予め橋梁形式や評価内容に応じてこのような処理方法の適用条件の関係が種々の条件に対して用意されれば、FEM などの精度の高い解析を用いた場合でも基準の許容値と従来と同等の対比が行えることがわかる。

(2) PC箱桁橋

ウェブ厚を 400, 600, 800mm と変化させ、棒モデルと FEM で支間中央曲げモーメントを算出した結果を、図-5 に示す。床版厚に対してウェブ厚が薄くなると、FEM で算出した曲げモーメントと棒解析における応力度ともに小さくなっているのがわかる。このとき曲げモーメントは、図-6 に示すような支間中央断面における直応力に対して、要素ごとに作用する軸力を断面方向に積分し算出している。この処理方法を用いると、棒モデルで解析した場合と絶対値に差はあるものの、曲げモーメントに関しては、床版厚に対するウェブ厚との関係は同様の傾向で評価できることがわかった。

[今後の課題]

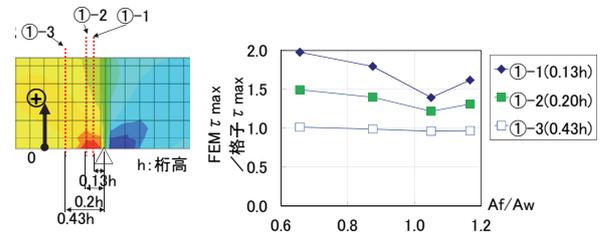
実橋計測や対象を拡大した試算等を行い、解析レベルに応じた性能評価手法(モデル化方法、解析結果の評価方法)を検討していく予定である。

[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]

省内委員会等における参考資料とする。



(a) 断面位置 (b) 断面位置に応じたせん断応力比
図-4 ウェブせん断応力

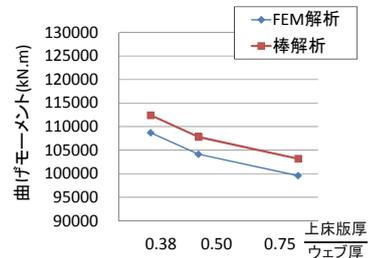


図-5 曲げモーメント比較結果(支間中央)

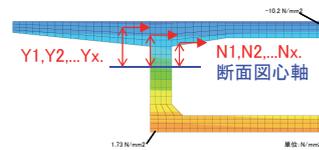


図-6 算出処理方法

耐久性を喪失させる要因分析及び設計・施工時の 対処方法に関する調査検討

Study on investigation into cause of durability loss and the measures in design and construction stages
(研究期間 平成 21～23 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 中洲 啓太
Senior Researcher Keita Nakasu
研究官 横井 芳輝
Researcher Yoshiteru yokoi
交流研究員 吉川 卓
Guest Research Engineer Taku Yoshikawa

室長 玉越 隆史
Head Takashi Tamakoshi
主任研究官 星野 誠
Senior Researcher Makoto Hoshino
研究官 石尾 真理
Researcher Mari Ishio

In order to improve accuracy of durability deterioration prediction for bridge and structures, NILIM conducted statistic analysis on chloride damage of reinforced concrete, using the periodic inspection data and the site survey data. Also use the beam specimens of PC, measure the displacement and internal stress caused by creep and shrinkage, and clarified the effect of restraint by the reinforcement.

〔研究目的及び経緯〕

道路橋の設計基準である道路橋示方書（以下、「道示」という。）は、経済的かつ合理的に所要の性能が実現されるよう、過去から時代を経て改定がなされてきている。耐久性については、信頼性の高い定量的な照査手法を規定するために必要な知見が十分ではないものがほとんどであり、設計上の目標期間として100年程度を念頭において、構造細目や板厚などの仕様を満たすことで、供用期間中の耐久性を確保するとした手法が中心となっている。

本研究では、耐久性の評価手法における信頼性の向上のため、耐久性に影響を与える様々な外力、環境条件、施工品質と耐久性の関係を明らかにし、それらの要因を定量的に設計で考慮するなど、合理的で信頼性の高い耐久性設計が行える手法の確立を目標としている。平成23年度は、下部構造および擁壁やボックスカルバート、ロックシェッド等における鉄筋コンクリート部材の塩害による損傷を対象として、現地調査と定期点検結果等の分析を行い、これらの構造物における塩害の影響要因との関係を把握した。また、PC橋における持続荷重・収縮に関する試験を開始し、短期でのクリープ・収縮と影響要因との関係を把握した。

〔研究内容及び研究成果〕

（1）下部構造の塩害に関する調査

図-1に、海岸線からの距離と供用年数とを関連づけ

て、道示の塩害地域区分Bに位置する橋梁の塩害調査結果を示す。図中の曲線は、1km換算飛来塩分量を用いたフィックの拡散方程式に基づく理論曲線であり、昭和59年塩害対策指針(案)の規定によるかぶり70mm、W/C=60%の曲線と、平成14年道示の規定によるかぶり90mm、W/C=50%の曲線である。図から、かぶり70mm、W/C=60%とした理論曲線より左上に位置する橋梁において、塩害による損傷が発生している傾向が伺える。一方、平成14年道示により設計された橋梁については、現時点では、10年程度以下の経過年数であり、塩害による損傷を受けた調査データはほとんどなかった。今後も、必要な時期に調査を行っていく必要があると考えている。

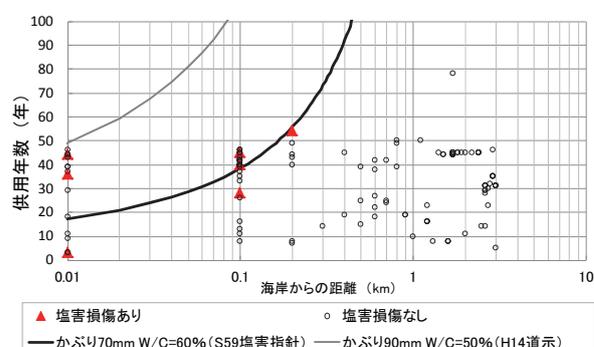


図-1 海岸からの距離-供用年数の関係(地域区分B, 下部構造)

(2) 擁壁等構造物の塩害に関する調査

擁壁、ボックスカルバート、ロックシェッドの塩害による損傷状況を計 50 箇所現地調査したところ、各構造物ともに、塩害による損傷が認められた。図-2 に、供用年数が判明した構造物について、海岸からの距離と供用年数とを関連づけて調査結果を示す。図より、かぶり 70mm、W/C=60%とした曲線（昭和 59 年塩害対策指針（案）より左上に位置する構造物において、塩害による損傷が発生している傾向が見られ、下部構造と同様な状況であった。擁壁等構造物の種類や構造は多様であるため、合理的なかぶり値の設定のためには、統一的な評価基準による定期的な調査データを増やす必要がある。

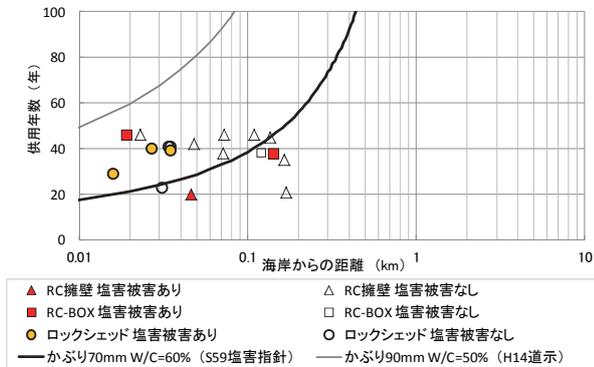


図-2 海岸からの距離-供用年数の関係

(地域区分 B, 擁壁等構造物)

(3) PC 橋の持続荷重の影響

PC 橋における持続荷重・収縮の影響を把握するため、PC 橋の実橋環境を模擬して、持続荷重・収縮による部材内部の応力状態の経年的把握に着眼した供試体を製作し、持続荷重試験を行った。

供試体は、280mm×300mm×2500mm の梁部材とし、供試体側面を脱型直後にアルミテープで密閉することにより横方向に連続する実橋の部材と同程度の乾燥条件となるように配慮した(図-3)。持続荷重は、供試体の軸方向のシーす内に設置した PC 鋼棒を緊張して与えた。試験ケースは、持続荷重の作用応力、軸筋及び横筋の鉄筋量の違いに着目した 7 ケースとした(表-1)。今年度は、緊張後 106 日までの計測である。

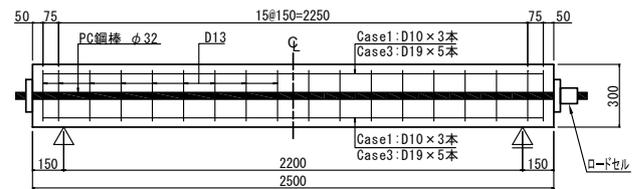
持続荷重によるクリープひずみは、供試体内部のモールドゲージにより計測された全体のひずみ値から乾燥収縮によるひずみ値を差し引いて算出した。クリープ係数は、算出したクリープひずみにヤング係数と持続荷重による応力度の比を乗じて求めた。このクリープ係数と道示の規定値を比較すると、PC 橋における一般的な鉄筋量(ケース 1)でも異なり、軸筋鉄筋量の大きいケース 3 では顕著に減少していた(図-4)。一方、

横筋の鉄筋量が大きいケース 5 では、収縮量への顕著な影響はみられなかった。このように、クリープひずみには軸筋の拘束が影響していることが確認された。また、鉄筋量の偏った配筋のケース 4 では、鉄筋量の違いによる収縮の差に起因して、鉛直変位量が大きく変化しており、クリープひずみの予測において留意する必要性のあることが確認された。また、FEM を用いた変位算出解析を行い、各ケースの計測結果と同様な変位が解析で再現できることを確認した。

表-1 持続荷重の試験ケース

Case	緊張力	軸筋鉄筋量	横筋鉄筋量
1	569kN (0.6Pu)	0.5%	0.6%
2	285kN (0.3Pu)	0.5%	0.6%
3	569kN (0.6Pu)	3.4%	0.6%
4	569kN (0.6Pu)	上段 3.4% 下段 0.5%	0.6%
5	569kN (0.6Pu)	0.5%	1.9%
6	569kN (0.6Pu)	3.4%	1.9%
7	0kN (0Pu)	0.5%	0.6%

側面図



断面図

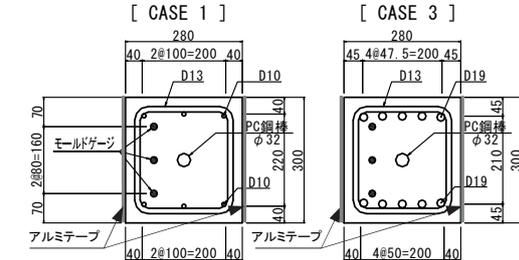


図-3 持続荷重の供試体

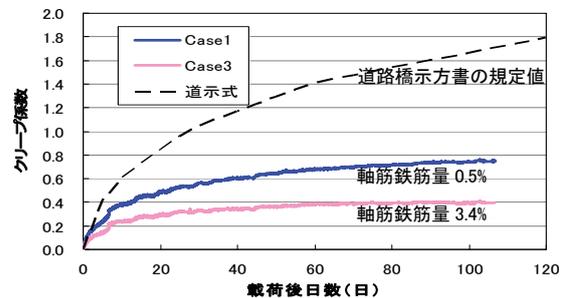


図-4 配筋がクリープ係数へ与える影響

【成果の発表】

国総研資料及び土木学会等の論文で発表予定。

【成果の活用】

橋梁の耐久性に関する項目として点検・評価・設計等の基準に反映予定。

ボックスカルバートの耐震性能に関する検討

Experimental and numerical study on seismic capacity for concrete box culvert

(研究期間 平成 22～23 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 中洲 啓太
Senior Researcher Keita NAKASU
研究官 北村 岳伸
Researcher Takenobu Kitamura

In order to propose a seismic design method for large scale concrete box culverts over 6.5m width and 5m height, NILIM carried out cyclic loading tests of the culvert models and numerical analyses.

The results indicate that seismic behavior of the box culverts depend on structure details intricately, and that it is not simply applicable to the existing design method of piers, girders, and so on.

〔研究目的及び経緯〕

近年、道路盛土に、従来の標準的な寸法を大幅に超える大断面や2連など特殊構造のボックスカルバート(以下「カルバート」という.)の採用が検討される例がある。一方、これらのカルバートの大規模地震時の挙動については不明な点も多く、耐震性能の照査については統一的方法が確立していない。

本研究では、カルバートの耐震性能を明らかにするとともにその評価方法を確立するため、縮小模型を用いた正負交番載荷実験と数値解析を行い、地震時挙動について検討した。

〔研究内容及び成果〕

(1) 交番載荷試験

表-1 に示す土かぶり、断面形状、中間構造をパラメータとした3ケースのカルバートを想定し、道路土工-カルバート工指針(H22 日本道路協会)に準じて常時設計を行い、実物の構造寸法を決定した。この実物の構造寸法を相似則に基づき1/3に縮尺し、供試体の構造寸法を決定した。供試体の配筋は、「国土交通省制定土木構造物標準設計第1巻(平成12年度版)」の場所打ち方式の一連カルバートを参考に、主鉄筋とハンチ筋は引張鉄筋比、配力筋は主鉄筋に対する比率、幅止め鉄筋は断面積比が実物とほぼ同じとなるように調整した。ケース1を例として、実験供試体断面図を図-1に示す。

載荷方法を図-2に示す。床面に設置された支持治具を介して供試体底版を固定し、土圧に相当する上載荷重を頂版面に与えた状態での、水平力載荷アクチュエーターによる正負交番載荷である。載荷は、一定振幅変位増幅法により行い、同一水平変位振幅における正

負繰り返し回数は3回とした。

載荷終了時のひび割れ発生状況の例(ケース1)を、写真-1に示す。

ケース1の例では、カルバートの側壁と頂版との接合部のハンチ部および頂版の主鉄筋段落とし部付近に、顕著なひび割れが生じていた。ケース2, 3でのハンチ部で卓越したひび割れも踏まえると、これらの破壊形態には、ハンチ部の剛性と配筋方法、頂版部の鉄筋の段落としの有無などの配筋方法が大きく影響している可能性のあることがわかった。土中構造部であるカルバートの場合、耐震性能の観点からは、頂版を支持する側壁や中壁が鉛直荷重支持性能を失わないことに

表-1 供試体一覧(実構造) 単位 m

ケース	形状	土かぶり	内空幅	内空高さ	中間構造
1	1 BOX	1.5	6.5	6.0	—
2	2 BOX	1.5	6.5	6.0	壁構造
3	2 BOX	1.5	6.5	6.0	柱構造

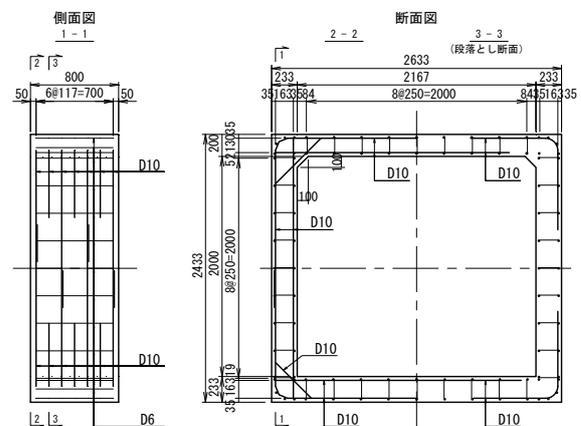


図-1 実験供試体断面図(ケース1)

加えて、頂版そのものの大変形や崩壊によって内空断面が侵されないことが、被災後の利用や機能回復の点で重要と考えられる。

また、構造特性によっては点検困難な側壁外側（盛土側）や側壁内部に顕著なひび割れが生じる可能性があり、カルバートとしての耐震性能が満足され、かつ、性能状態が点検可能な破壊形態に確実に誘導できるための配筋条件などの設計方法を確立する必要があることが確認された。

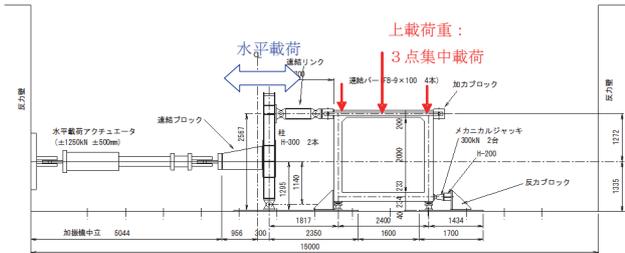


図-2 実験載荷状況図(ケース1)



(a) ハンチ部

(b) 頂版部

写真-1 ひび割れ発生状況(ケース1)

(2) 載荷実験の再現解析

上記実験で確認されたカルバートの構造条件におけるひび割れの発生メカニズムと耐震性能を確認するため、ファイバー要素を用いた2次元解析モデルにより、カルバートの繰り返し水平載荷実験の再現解析を実施した。ケース1の結果を図-3に代表として示す。

解析3ケースを比較した結果、構造条件の違いによる配筋の違いやハンチの有無などの構造細目が損傷性状に影響することが確認された。ただし、接合部付近

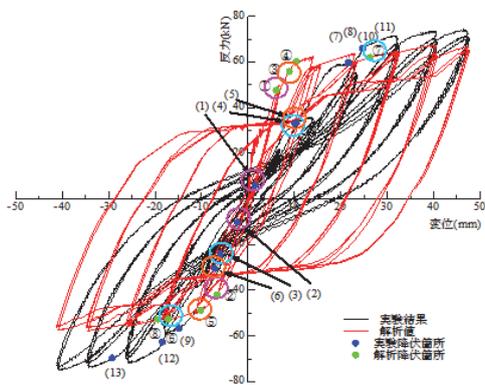


図-3 再現解析(ケース1)

のモデル化方法や剛域の設定条件により、解析結果が大きく異なる場合があるため、設計法の確立と併せて解析方法の確立も必要である。

(3) 構造細目の違いによる耐震性能評価

(1), (2)を踏まえて、配筋条件やハンチ形状などの構造細目の違いが損傷形態に及ぼす影響を把握するため、図-4に示す方法により、図-5に示す切り出し部分モデルの交番載荷実験を実施した。

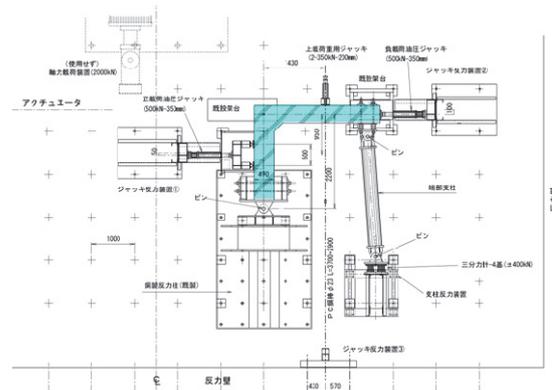
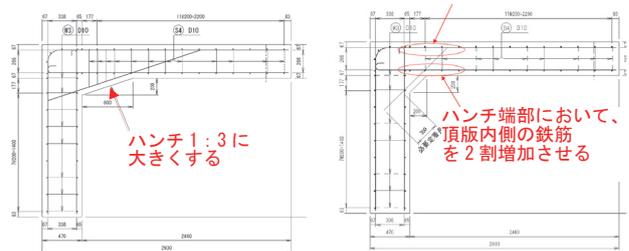


図-4 部分模型実験載荷方法



(ハンチ形状を変更)

(配筋量を変更)

図-5 部分モデル供試体

頂版側の破壊よりも側壁側の破壊を先行させるとともに、側壁側の破壊形態は鉛直支持性能を失わず点検による確認ができるよう、上部内側から水平方向に向かうひび割れを生じさせることを意図して、供試体は、一般的な条件に比べてハンチ形状を変更したものとハンチ形状は変えず配筋量を変更した2ケースとした。

実験の結果、致命的な損傷となる頂版への損傷を制御し、側壁側へ損傷を誘導できる可能性が確認できた。

今後は、破壊性状の制御に関わる各設計項目の相関関係について検証を進め、設計法を確立するとともに基準等への反映を図っていく。

[成果の発表]

国総研資料及び各種論文に発表予定である。

[成果の活用]

道路土工-カルバート工指針等、技術基準改定のための基礎資料となるものである。

道路構造物の津波被害メカニズムの調査及び

津波に対する道路構造物の要求性能に関する調査検討

Study on damage mechanisms of tsunami on highway structures
and performance requirements of highway structures against tsunami

(研究期間 平成 23 年度)

道路研究部 道路構造物管理研究室	室長	玉越 隆史
Road Department Bridge and Structures Division	Head	Takashi Tamakoshi
主任研究官 大久保 雅憲	主任研究官	星野 誠
Senior Researcher Masanori Okubo	Senior Researcher	Makoto Hoshino
研究官 北村 岳伸	研究官	横井 芳輝
Researcher Takenobu Kitamura	Researcher	Yoshiteru Yokoi
交流研究員 氏本 敦	交流研究員	吉川 卓
Guest Research Engineer Atsushi Ujimoto	Guest Research Engineer	Taku Yoshikawa

Highway bridges were damaged due to tsunami occurred by the 2011 Great East Japan Earthquake. However, relationships between tsunami forces and the damaged conditions for the highway bridges are not uncertain. Moreover, estimation method of tsunami forces is one of the important problems in design of highway bridges concretely. Thus, NILIM studied on the relationships between tsunami forces acting on the highway bridges and the damaged conditions by calculating the water depth and the velocity of tsunami at the bridge sites using 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、津波により東北地方から関東地方の広い範囲で甚大な被害が発生した。道路橋においても、津波による上部構造や橋台背面土の流出、下部工の倒壊など、過去にあまり例のない被害がみられた。津波の作用と道路橋の被災状況との関係については、これまでほとんど検討されていない。このため、道路橋の設計において具体的に津波の影響を評価する手法の確立が、今後の重要な課題として浮かび上がった。

こうした状況を踏まえ、東北地方太平洋沖地震において津波の影響を受けた橋梁を対象に、架橋位置での津波の特性を推算した上で、橋桁に作用する津波荷重の傾向分析及び津波の作用と被災状況との相関関係の分析を行った。

〔研究内容〕

1. 橋梁架橋位置における津波の特性の推算

橋梁架橋位置における津波の特性（流速、流向、水深等）を推算するため、津波による影響を受けた約 200 橋を対象に、周辺地形や構造物等を考慮した津波伝搬・遡上解析を行った。解析は、非線形長波理論式¹⁾とし、波源モデルとして藤井・佐竹 Ver4.6²⁾を、地形、構造物、粗度等は最小 10m メッシュのデータを用いた。

2. 数値波動水路解析による津波荷重の傾向分析

津波により橋桁に作用する荷重傾向の把握のため、数値波動水路（断面二次元波動モデル）解析により津波荷重を試算した。ポステン T 桁橋（支間長 L=30m）の上部工をモデル化し、津波伝搬・遡上解析で得られた橋梁架橋位置の津波特性を入力した。

3. 津波作用と被災状況との相関整理

津波伝搬・遡上解析で得られた橋梁架橋位置の津波特性を用い、津波作用力を算出した。水平方向は橋桁側面に作用する静水圧及び流体力を、鉛直方向は浮力及び揚圧力を考慮した。

水平抵抗力については、図面から支承のアンカーボルトが確認できるものはその水平耐力、不明なものは道路橋示方書で考慮される変位制限装置の設計地震力相当として算出した値、鉛直抵抗力については、上部工の自重のみとした。

これらの津波の作用力及び抵抗力と被害状況との相関関係について、橋梁形式、構造寸法、架橋条件等ごとに分析を行った。

〔研究成果〕

1. 橋梁架橋位置における津波の特性の推算

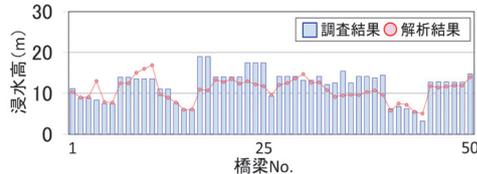
地震発生直後から、津波の影響を受けた橋梁の現地調査、道路管理者からの情報収集、衛星写真の分析等

を行い、表-1 に示す津波の影響を受けた約 200 橋の被災状況を把握した。この全橋に対して、個別に、津波伝搬・遡上解析を実施し、橋梁架橋位置の津波の水深、流速、流向を算出した。算出結果は、国土地理院にて公表されている浸水範囲概況図や各機関及び学会等の現地調査結果による実績データと照合し、妥当性を確認した。図-1 に、浸水高と流速を実績データと比較したものの一例を示す。浸水高については、実績データと概ね整合していることが確認できた。一方、流速については、実績データを確かめる箇所が限られており、引き続き検証を行っていく予定である。

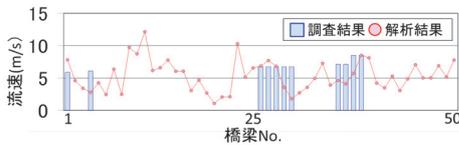
表-1 調査対象橋梁

橋種 (推定)	流出	未流出	計
鋼橋	41	35	76
コンクリート橋	57	70	127
計	98	105	203

注：橋種については、衛星写真からの推定を含む。



(a) 浸水高



(b) 流速

図-1 解析結果と実測値の比較

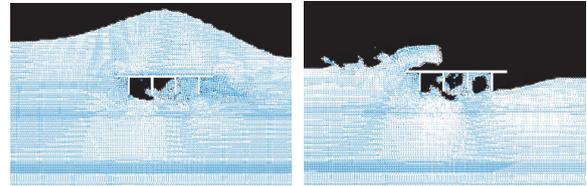
2. 数値波動水路解析による津波荷重の傾向分析

図-2 に、数値波動水路解析の結果のうち、鉛直力及び水平力が最大となる時刻における津波の作用状況を、図-3 に、橋桁に作用する水平力及び鉛直力の時刻歴を示す。これらから、水平力と鉛直力が最大となる時刻は異なり、津波の作用状況も異なることがわかった。また、水平力は、時間とともに水位、流速が増加して大きくなっている一方、鉛直力は、津波が橋桁に衝突し、上面に覆い被さる (図-2(b)) までは大きく上昇し、橋桁上面にまで津波が覆い被さると、下向きの力に変わることが分かった。

3. 津波作用と被災状況との相関整理

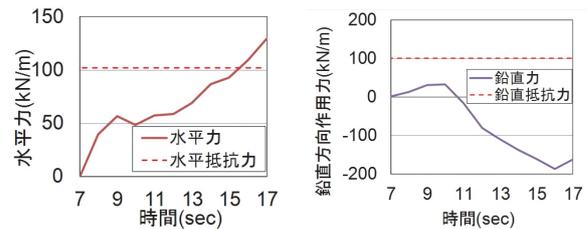
図-4 に、PC 床版橋と PC-T 桁橋を例に、上部工水平抵抗力と水平方向津波作用力との関係を示す。図には、流出したにも拘わらず作用力がほぼ 0 となったなどの 3 橋 (図中に「特異」と区分) を除いた回帰式を示した。PC 床版橋においては流出しなかった橋梁が下方に分布したものの、PC-T 桁橋ではほぼ同じ回帰式となり、

現時点では、津波による作用力と被災状況について明確な相関は得られていない。引き続き、橋梁架橋条件、周辺地形、構造諸元等からの分析を進めていく予定である。



(a) 水平力最大時 (b) 鉛直力最大時

図-2 橋桁モデルに作用する津波



(a) 水平力

(b) 鉛直力

図-3 数値波動水路解析による作用力の時刻歴

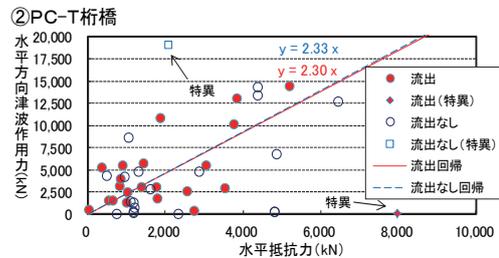
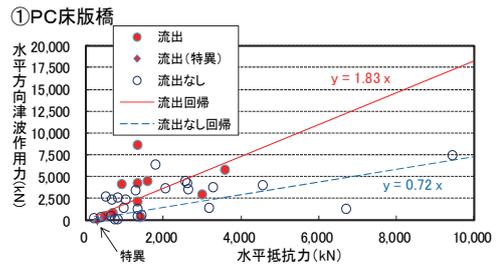


図-4 解析結果と実測値の比較

【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】

今後も検討を続け、津波の影響を受ける道路橋に対する技術基準策定における参考資料とする。

【参考文献】

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局海岸室, 国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室, 平成 23 年東北地方太平洋沖地震による津波の対策のための津波浸水シミュレーションの手引き, 平成 23 年 7 月
- 2) http://iisee.kenken.go.jp/staff/fujii/OffTohokuPacific2011/tsunami_ja.html

道路事業における総合評価落札方式の技術評価の改善に関する検討

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

(研究期間 平成 15～23 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

室 長 森田 康夫
Head, Yasuo MORITA
主任研究官 岡野 稔
Senior Researcher, Minoru OKANO
研究官 多田 寛
Researcher, Hiroshi TADA
部外研究員 工藤 匡貴
Researcher, Masataka KUDOU

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ける総合評価落札方式の適用については、平成11年度より大規模かつ難易度の高い工事を対象に試行してきたが、平成17年度には「公共工事の品質確保の促進に関する法律（以下、「品確法」という。）」の施行を受け、より規模の小さな工事やより難易度の低い工事を含め、原則すべての工事に適用するために、総合評価のタイプ分類の改善を行い品質確保に努めてきたところである。

平成23年度の直轄工事における総合評価落札方式の適用率はほぼ100%であり、「品確法」施行から7年が経過して、導入効果が適切に得られているか把握することが求められた。本調査は、実施状況より具体的な適用効果を把握し、結果を踏まえて改善方策の検討を行うものである。

[研究内容]

国土技術政策総合研究所においては、平成 21 年 11 月に「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」を設置し、総合評価方式の活用・改善や入札・契約に関する諸課題への対応に向けた検討を行っている。今年度は、総合評価落札方式の品質確保への寄与度について、総合評価のタイプ・評価項目等による影響を分析して効果の検証と課題を整理し、その結果を踏まえ、適

用すべき総合評価方式のタイプ・評価方法等の改善(案)の検討を行った。

[研究成果]

(1) 主な効果の検証と課題の整理

①主な効果の検証概要

導入目的や改善目的が達成されたかを、成績評定との比較を通して検証を行った。

<実施率と工事成績評定点の変化>

総合評価の普及・拡大に伴って工事成績評定点（平均点）が年々高くなっており、工事の品質向上に繋がっている可能性がある。

<落札者の動向>

入札参加者の動向は、WTO（標準型）において平成 20 年度 10 社程度から平成 22 年度 20 社程度まで倍増している。また、落札者に占める技術評価点最高得点者の割合は増加傾向、最低価格者の割合は減少傾向となっている。さらに、技術評価点の取得動向は、WTO（標準型）では 1 位同点者数は増加し、1 位と 2 位の得点差は平成 20 年度以降急激に差が縮小している。

簡易型では、簡易な施工計画の得点率が 80～100% に集中している。

②課題の整理

○競争参加者の増加、技術提案を求める工事の拡大、透明性確保のための技術提案採否の通知など、技術提案・審査に係わる競争参加者・発注者の負担が増加している。

○高度技術提案型の適用率の低下により、民間の技術力活用の理念から乖離している。

○手持ち工事量や地域貢献の評価要望により評価項目が複雑化し、品質確保の理念から乖離している。

(2) 総合評価落札方式の改善(案)

①改善の方針

総合評価落札方式の目的を踏まえ、上記(1)②の課題を改善するために、建設業許可、競争参加資格審査、競争参加資格要件設定との適切な役割分担のもと以下の4点の改善方針をまとめた。

○施工能力の評価と技術提案の評価に二極化

○施工能力の評価は大幅に簡素化

○技術提案の評価は品質の向上が図られることを重視

○評価項目は原則、品質確保、品質向上の観点に特化

②改善方策(案)

工事目的物の品質は、企業のみならず、配置予定技術者の能力の影響も大きいと考えられることから、配置予定技術者の評価の重みを重視した。また、手間の大幅な簡素化や品質向上を図る工事を明確にするために総合評価タイプの二極化(案)を検討した。

<総合評価タイプの二極化>

現在の総合評価落札方式は、全てのタイプにおいて技術提案を求め評価を行い、落札者を決定している。しかし、効果の検証結果から「簡易型」等の工事難易度が低い工事においては、競争参加者における「簡易な施工計画」等の得点率が高く技術力の選別の観点から有効に機能していない、また、当該タイプは発注件数が多く受発注者の手間も小さくない。

これらを改善するため、基本的に技術提案を求めない「施工能力評価型(仮称)」と、技術提案を求める「技術提案評価型(仮称)」の2タイプに大きく分類し、技術提案を求めないものと求めるものを明確に整理した。

○施工能力評価型(仮称)は、企業と配置予定技

術者の能力での評価を基本とするが、必要に応じ技術提案を求める場合には可・不可で評価し、参加者数が多い場合には、段階選抜や配置予定技術者に対するヒヤリングを活用することも可能であり、受発注者の手間の簡素化を図るものである。

○技術提案評価型(仮称)は、工事難易度が高く企業の高度な技術力を有効活用する場合、企業の能力を評価するため技術提案を求めるものである。タイプとしては、「施工上の工夫等に係わる提案」を求めるS型(従来の標準型(I型相当))、設計の提案や変更と施工方法の提案を求めるA型(従来の高度技術提案型)に分類される。段階選抜や配置予定技術者ヒヤリングの適用については、S型(WTO対象工事は除く)は必要に応じて活用し、A型は必須事項となっており、技術提案内容を点数化して評価するものである。

<技術評価点の配点方針>

技術評価点の加算点の項目は、ア)技術提案、企業の能力等、イ)配置予定技術者の能力等として、工事目的物の品質確保等に関する配置予定技術者の能力の寄与度が大きいと考えられることから、企業と配置予定技術者の配点割合は同じとした。

また、地域精通度・貢献度等については、イ)企業の中で評価し配点は10点を上限とした。

<企業・技術者等の能力の評価方針>

企業及び技術者の能力等の評価項目は、施工実績、工事成績及び表彰を必須として、必要に応じて能力が判断できる項目を適宜設定できるものとした。

また、地域精通度・貢献度等の評価項目は、社会資本整備・管理に関係のある項目を必要に応じて設定し企業能力の中で評価し、設定は各地方整備局の判断に委ねることとした。

[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5回:平成23年9月26日、第6回:平成24年2月28日開催)において公表。

(<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、各地方整備局等において平成24年度より試行される予定である。

3次元CADデータに関する検討

Research on an exchange standard of 3-D CAD data format

(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
Information Technology Div. Research Center
for Advanced Information Technology

室長 重高 浩一
Head Kouichi Shigetaka
主任研究官 青山 憲明
Senior Researcher Noriaki Aoyama
研究官 井星 雄貴
Researcher Yūki Iboshi

In the field of civil engineering, advanced product system using 3D-CAD needs for productivity improvement as well as manufacture. We examined an exchange standard of 3D-CAD data as a part of CALS/EC activities in this study.

〔研究目的及び経緯〕

建設事業は、公共事業の削減、社会資本ストックの老朽化による維持管理費の増大、技術者の高齢化と熟練者不足等の課題に加え、労働生産性が他の産業に比べて著しく低く、建設生産システムの変革が早急に求められている。また、近年、一般競争入札の導入に伴うダンピング受注の増加や、不良不適格業者の参入、体制が脆弱な発注者の存在等により、公共工事の品質低下が懸念されている。品質確保を図るためには、監督検査の強化を図る一方、オペレータの熟練度に依存しない出来形・品質管理技術の導入が求められている。

国土技術政策総合研究所は、公共工事の調査、設計、施工、維持管理の各段階で発生する各種情報を標準化及び電子化し、建設生産システムの全フェーズにおいて共通に活用が図られるような電子データシステムの構築を目指しており、本研究では、情報化施工や維持管理で利用する3次元データの標準化技術、3次元データ可視化技術の開発等を対象としている。

〔研究内容〕

(1) 2次元で設計したデータを3次元化するデータ交換標準の策定

道路横断形状、河川堤防形状のデータ交換標準(素案)(以下、3次元設計データ交換標準という)について、過年度の検討結果及び関係機関との意見交換を基に修正を行うとともに、3次元設計データに係る電子納品運用ガイドライン(素案)、CADベンダへの周知資料の作成を行った。

また、設計から施工へ至る過程での3次元設計データの作成・修正場面、方法等を整理した現場利用マニュアルを作成した。

さらに、既往文献や関係機関へのヒアリング等を基に調査、設計、施工、維持管理段階での3次元設計データの利用ニーズを整理した。

(2) 橋梁の3次元データ流通に関する標準仕様の策

定

過年度に実施した橋梁工事における3次元データ利活用の試行結果及び関係機関との意見交換を基に、座標図製図基準や3次元モデルの標準仕様の素案を作成した。

また、橋梁の外形形状の3次元データを基盤として、監視基準点、図面、点検結果、補修履歴等と組み合わせた維持管理での利用イメージを作成した。

〔研究成果〕

(1) 2次元で設計したデータを3次元化するデータ交換標準の策定

現状では、2次元の詳細設計成果に基づき、施工段階で情報化施工に対応した3次元データが作成されているが、将来的には設計段階で3次元データが作成され流通する方針とした(図1参照)。

3次元設計データ作成・修正において、特筆すべき事項として次が上げられる。

- 道路と河川では、測量から設計図面作成に至るプロセスが異なり、河川では堤防法線(法面)に斜交する横断図が作成されることがある。
- 施工では、起工測量後に、地形とのすりつけ部分などの図面修正を行っている。

また、道路での現在のデータ利活用状況を整理すると、概略・予備設計では3次元、詳細設計では2次元、情報化施工では3次元、維持管理では2次元データを利用しており、事業プロセスを通じた一貫したデータ流通がなされていない現状が明らかとなった。

(2) 橋梁の3次元データ流通に関する標準仕様の策定

3次元モデルの費用対効果について、「作りこみレ

ベル・作図難度・作図者レベル」を3種類ずつ想定し作図に係る人工を計測したところ、費用対効果は、作りこみレベル・作図難度・作図者のレベルをうまく選択すれば1~3程度の効果が得られるという結果となった。

また、3次元データを利用したコントロールポイント記載の標準仕様として、橋梁全体の動き・ねじれ等を捉えることが可能なスケルトンモデル(図2参照)の利用を提案した。

維持管理も含めた事業プロセスにおいて、3次元データ利活用のロードマップを整理したところ、直近での実施可能な項目としては、2次元図面を用いた「座標図」の運用のみであるが、低レベルな3次元データであるスケルトンモデルを使ったコントロールポイントの流通については比較的近年の運用が可能と考えられる。

昨年度監視基準点を設置した圏央道平蔵川橋において再測量を行い、国道事務所と意見交換を行ったところ、次の意見が出された。

- ・監視基準点を測量するための基準点の維持が困難である。
- ・災害直後の測量は現実的でない。災害を受けた橋梁の長期的な維持管理を図るためには有効である。

る。

[成果の発表]

平成24年度に関係機関との意見交換会を予定しており、そこで今回の成果を報告する予定である。

[成果の活用]

本成果を基に、3次元設計データ交換標準(案)及び橋梁の3次元データ流通に関する標準仕様(案)の作成を行う予定である。

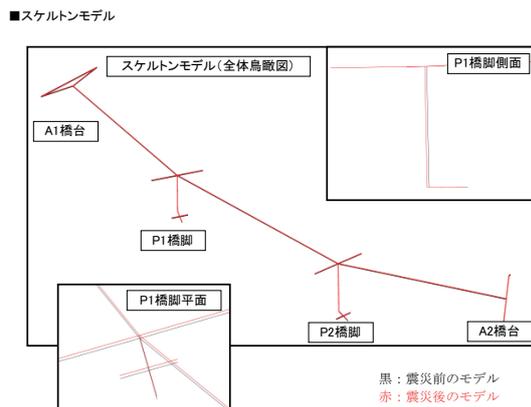


図2 スケルトンモデルによる監視基準点の変位表示

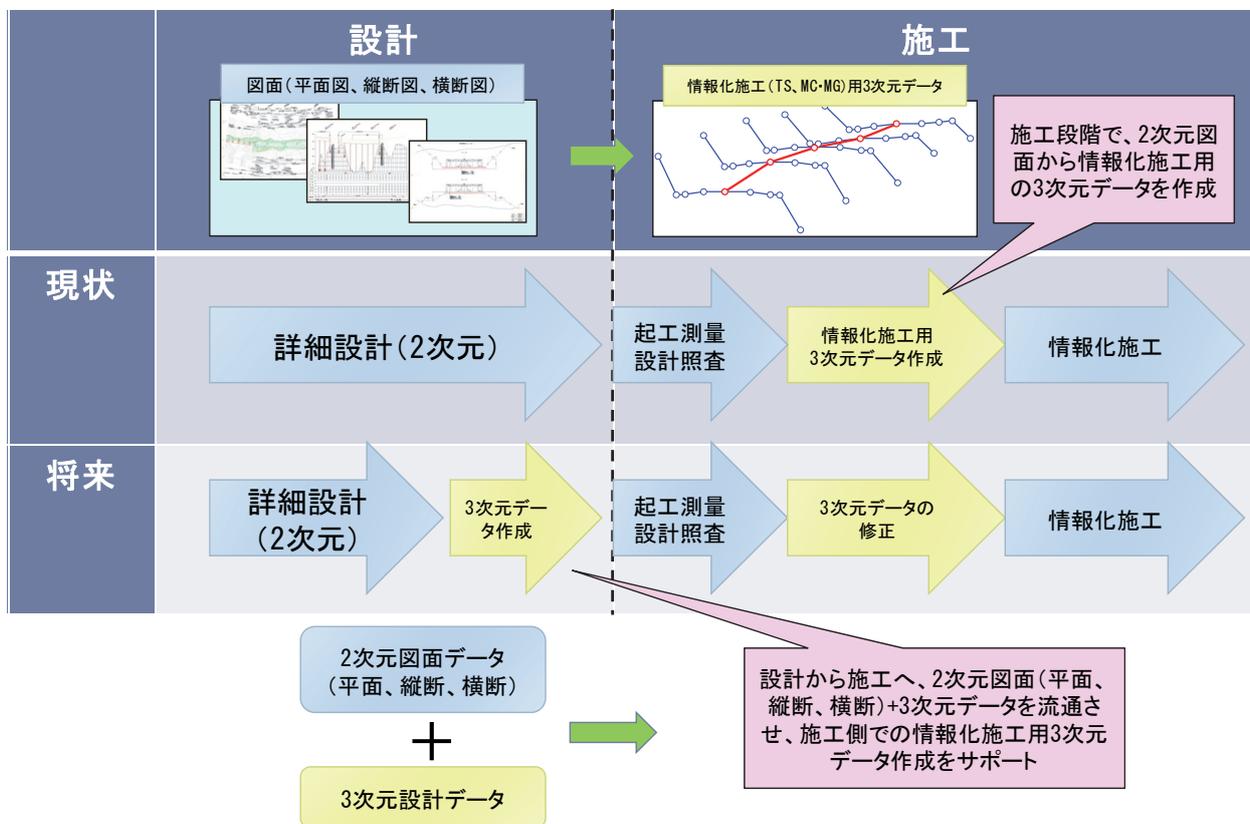


図1 設計から施工への3次元設計データの流通イメージ

3次元設計データの効率的な利用に関する調査

Research on the effective use of three-dimensional design data

(研究期間 平成 23~25 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 重高 浩一
Head Koichi SHIGETAKA
主任研究官 梶田 洋規
Senior Researcher Hiroki KAJITA
研究官 北川 順
Researcher Jun KITAGAWA

We examined efficient ways to use the 3D data which is taken by Intelligent Construction Systems.

【研究目的及び経緯】

我が国は、急速な少子高齢化による本格的な人口減少社会を迎えつつあるが、こうした中で、社会経済に新しい可能性を切り拓き、新たな活力を生み出し、人口減少局面においても持続的発展を実現することが重要な政策課題となっている。その実現手段の一つとして、ICT（情報通信技術）を建設施工に活用して高い生産性と施工品質を実現する情報化施工がある。

本研究は、情報化施工で用いるシステムに搭載する3次元設計データの効率的な作成方法、及び情報化施工で取得したデータを維持・管理・修繕で利活用し、効果を得る方法の検討を行うものである。

【研究内容・研究成果】

(1) データ交換標準の拡張に向けた検討

TSを用いた出来形管理技術は、TSに3次元設計データを搭載することで、出来形管理において管理箇所の3次元座標からソフトウェア上で幅や法長を算出し、計測と同時に設計値との差を表示することが可能となり、作業の手戻りをなくすなどの効率化や人為的ミスの防止等の効果があるものであり、現在は土工に

おいて実用化されている。TSを用いた出来形管理を実施するには、図1に示す3種類のソフトウェアが必要である。ソフトウェア間のデータ交換の仕様については、国総研においてXML形式の「TSによる出来形管理に用いる施工管理データ交換標準(案)」(以下、「データ交換標準」という)を定めている。現行のデータ交換標準は、平成20年3月に策定したver. 2.0であり、「土工の出来形管理」に必要な情報しか保持することができない。しかし、現在、TSを用いた出来形管理は、舗装工等への工種拡大を検討しており、その為には、データ交換標準についても、舗装工に必要な情報を保持できる仕様に修正する必要がある。そこで、データ交換標準の拡張に向けた検討を行った。その際、以下の点に留意した。

① 舗装工への工種拡大だけでなく、将来的な工種拡大に対応できるように、様々な形状の表現や、管理項目の設定が可能となる構造とする。
② 出来形管理だけでなく、維持管理等で活用する可能性がある項目で、ソフトウェアによって自動で取得可能な情報は、施工者に新たな負担をかけないことから、情報を記録する構造とする。
これらを踏まえ、業界団体と意見交換を実施し、平成23年9月にデータ交換標準をver. 2.0からver. 4.0に改定した。主な修正点は以下の通りである。

- ①多様な3次元形状を表現できる構造へ修正
舗装工等、「厚さ」を持った構造物が表現できるように、層を表現できることとした(図2)。
②管理項目の追加
管理項目について、これまでの「基準高」、「幅」、「法長」だけでなく、「厚さ」、「深さ」、「延長」、「面積」を追加した。これにより、出来形だけでなく、出来高の管理にも対応可能となる(表1)。
③履歴データの記録

トレーサビリティの確保や、データの維持管理で

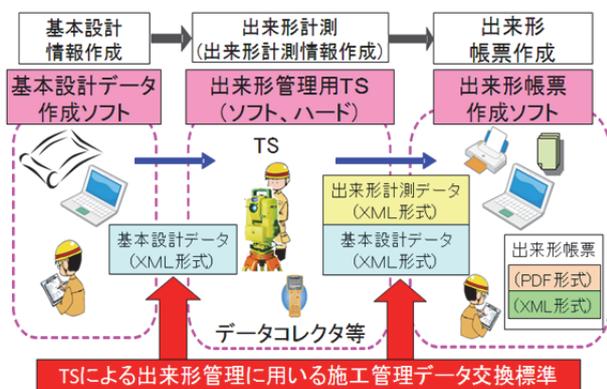


図1 TS出来形管理の流れ

の活用等を考慮し、データの修正履歴や出来形の記録日時、TSの設置位置等、作業の履歴データを保持し、記録を必須とする仕様とした。

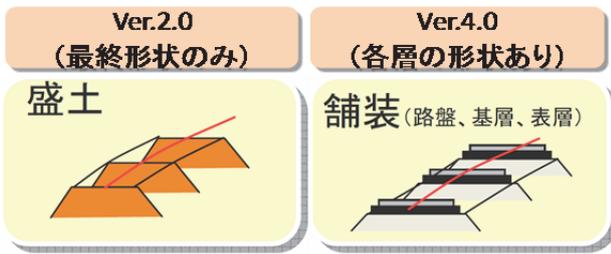


図2 層状構造物の表現

表1 工種別の管理項目（主な工種を抜粋）

	土工	舗装	地下埋設物	擁壁
出来形	基準高	基準高		基準高
	幅	幅		幅
	法長			法長
		厚さ		厚さ
			深さ	
		(平坦性)		延長
出来高	体積	面積	延長	面積

※赤字: ver.2.0では管理できない項目

(2) 情報化施工の維持管理での活用方策の検討

情報化施工は、ICTを用いて建設機械を制御したり、オペレータの技術者判断を支援する情報を提供することから、情報化施工を実施した場合には、施工時にこれらの情報を自動的に電子データとして取得することが可能である。このことから、これらの事務所職員へ

のヒアリング等を通じて、維持管理の実態を調査した。その上で、情報化施工で取得したデータを活用することや、情報化施工機器を活用することで、業務の効率化やコスト削減に寄与する場面を抽出した。さらに、抽出した活用方策案に対して、現場ニーズ、技術的な実現性に関して評価した。その結果、有効性が高い利活用方策として、以下のような案が抽出された。

- ① 完成形状の3次元情報を用いることで、復旧工事が早期化する。
- ② 前工事で利用した工事基準点や官民境界等の情報を用いることで、維持管理時に行っていた測量作業が簡略化する。
- ③ 出来形計測データを用いることで、完成図の精度が向上する。
- ④ 埋設物の出来形管理に情報化施工を用いることで精度の高い3次元の埋設位置を取得が可能となる。これにより、切断事故の防止等に繋がることが考えられる(図3)。

[成果の発表]

- ・各種学会や雑誌に投稿済み。
- ・平成23年9月に、「TSによる出来形管理に用いる施工管理データ交換標準(案)ver.4.0」を策定し、国総研HPで公表。

[成果の活用]

策定したデータ交換標準に基づきソフトが開発され、平成24年度より直轄工事にて活用される予定である。

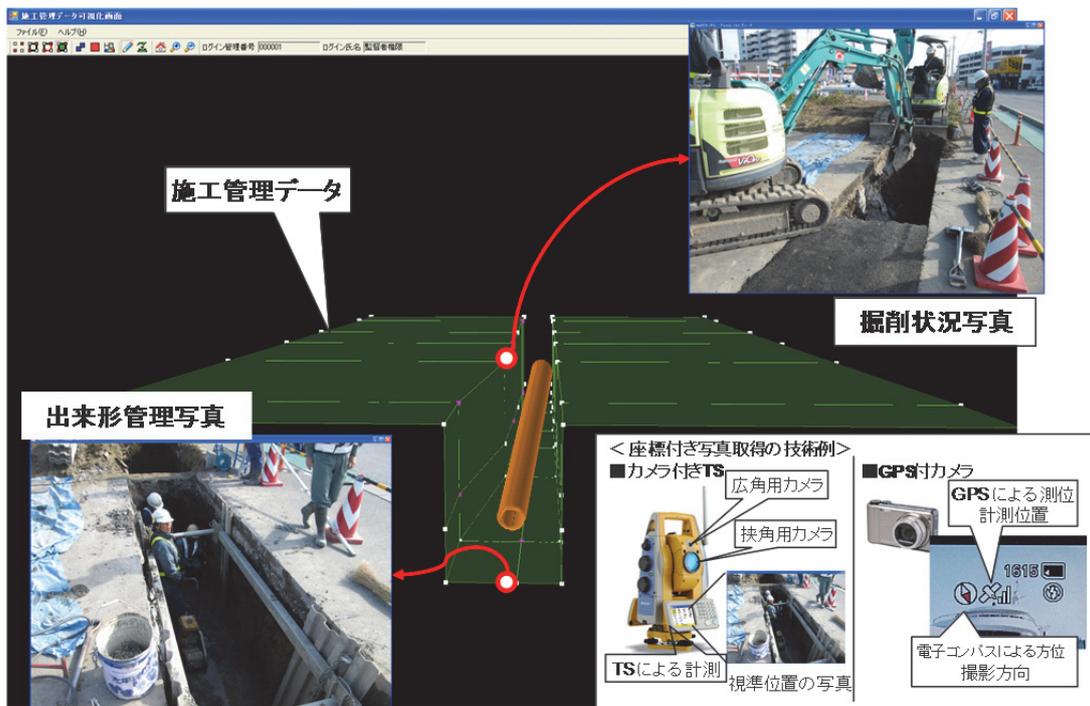


図3 埋設物管理システムの実装イメージ

情報化施工技術による埋設ガレキ等の管理技術に関する調査

Research on management skills for buried objects with Intelligent Construction

(研究期間 平成 23 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 重高 浩一
Head Koichi SHIGETAKA
主任研究官 梶田 洋規
Senior Researcher Hiroki KAJITA
研究官 北川 順
Researcher Jun KITAGAWA

In the affected areas of the Great East Japan Earthquake that occurred on 11 March 2011, the large amounts of debris have become a major issue. So, how to reuse those to fill material come under review.

In this study, we examined the method for managing buried objects with the as-built management technique with total station.

〔研究目的及び経緯〕

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災の被災地では、大量に発生したガレキの処理が大きな課題となっている。このガレキの処理方法の 1 つとして盛土材への再利用に向けた検討が進められている。しかし、ガレキは通常の土木材料とは性状が異なる事に加え、施工後は不可視となることから、施工時にガレキの埋設位置や埋設量を容易に把握し、維持管理段階においてシームレスに管理できる仕組みが必要である。

国土技術政策総合研究所では、3次元測量機器の TS (トータルステーション) を用いた出来形管理技術について研究している。この TS を用いた出来形管理技術は、国土交通省が推進している情報化施工技術の 1 つであり、現在は土工を中心に普及が進んでいる。この技術は、TS に搭載するソフトウェアに 3次元の設計データ (3次元の完成形状) を取り込むことで、①計測位置への誘導、②計測と同時に設計値との差を表示、③計測データを用いた帳票の自動作成、といったことが行える。当研究室では、この技術で用いられる 3次元のデータである「施工管理データ」の仕様を定めた「TS による出来形管理に用いる施工管理データ交換標準(案)」(以下、「データ交換標準」という)を策定しており、平成 23 年 9 月には、新たなデータ交換標準である ver. 4.0 を策定した。従来の ver. 2.0 では、土工を対象としたデータ項目しか保持することができなかったが、ver. 4.0 では舗装や地下埋設物等に関わるデータを保持することが可能となった。

本研究では、このデータ交換標準 ver. 4.0 を利用することで、TS 出来形管理技術を活用し、ガレキをはじめとした地下埋設物等を管理する為の手法について検

討した。

〔研究内容・研究成果〕

1. TS を用いた出来形管理技術を活用した埋設物管理のコンセプト

埋設物は、工事完成後に不可視となることから、維持管理段階において、その位置情報が把握できることが望まれている。現在では施工時の図面を用いて位置を管理している場合が多いが、完成後に図面に書き込む手間がある。また、情報が工事毎の紙で整理されているため、近傍に埋設されている物件であっても、別工事で施工されている場合、別々の書類となり、後で利用する場合、それぞれを参照する必要がある。土木工事では、必ず出来形の管理が必要であることから、埋設物の出来形管理に TS を用いた出来形管理を活用することで、埋設物の位置情報を精度の高い 3次元位置情報として取得し、更に維持管理に必要な情報を付加してシステムで管理することで、事務所における埋設物の管理を一元化し効率化可能と考えられる。

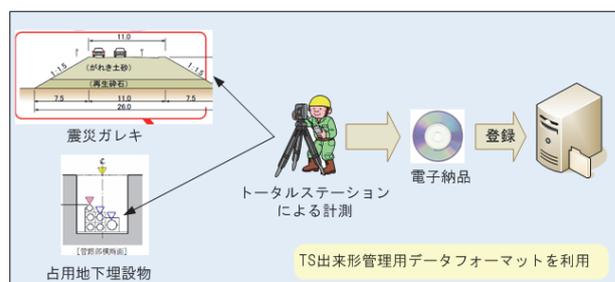


図 1 埋設物管理の流れ

2. 埋設物管理ソフトウェアの開発

1. で述べたコンセプトに基づき、施工管理データ

を用いて埋設物を管理するソフトウェアを開発した。
ソフトウェアには、以下の機能がある。

①データ登録機能

埋設物の管理に必要な情報を登録する機能である。
直轄工事の場合には、工事の電子納品 CD から、自動的に必要なファイルを抽出し、システムに登録可能としてある。ただし、埋設物の管理には、位置だけでなく、名称や管理者等の属性情報が必要となるが、施工管理データは、形状や計測時刻等しか情報を保持できない。そこで、それらの属性情報を csv ファイルで登録する機能を搭載した。この csv ファイルは、エクセルのマクロを活用した入力シートを用意しており、誰にでも容易に作成することを可能としてある。

②データ検索機能

管理者がデータを活用する時に、必要な情報を抽出する機能である。データの検索方法として、名称や管

理者といった属性情報を用いて検索する機能と地図上の位置で検索する機能を備えている。地図検索では、その位置に埋設された物件を一度に表示することが可能である。検索機能で特定の埋設物を選択すると、登録された詳細な情報を閲覧可能である。また、施工管理データは、3次元での表示とデータの出力が可能であり、データを現場に持ち出して TS に登録することで、埋設位置への誘導が可能である。

このように、TS を用いた出来形管理技術を活用することで、技術的には効率的に埋設物管理が可能になると考えられる。しかし、直轄工事ではなく占有工事を含める場合には、どのようにしてデータを取得するか等、運用面での調整事項が残されている。

[成果の活用]

今後、事務所等において活用していき、運用面の調整を図ることで、埋設物管理の効率化に資することとなる。

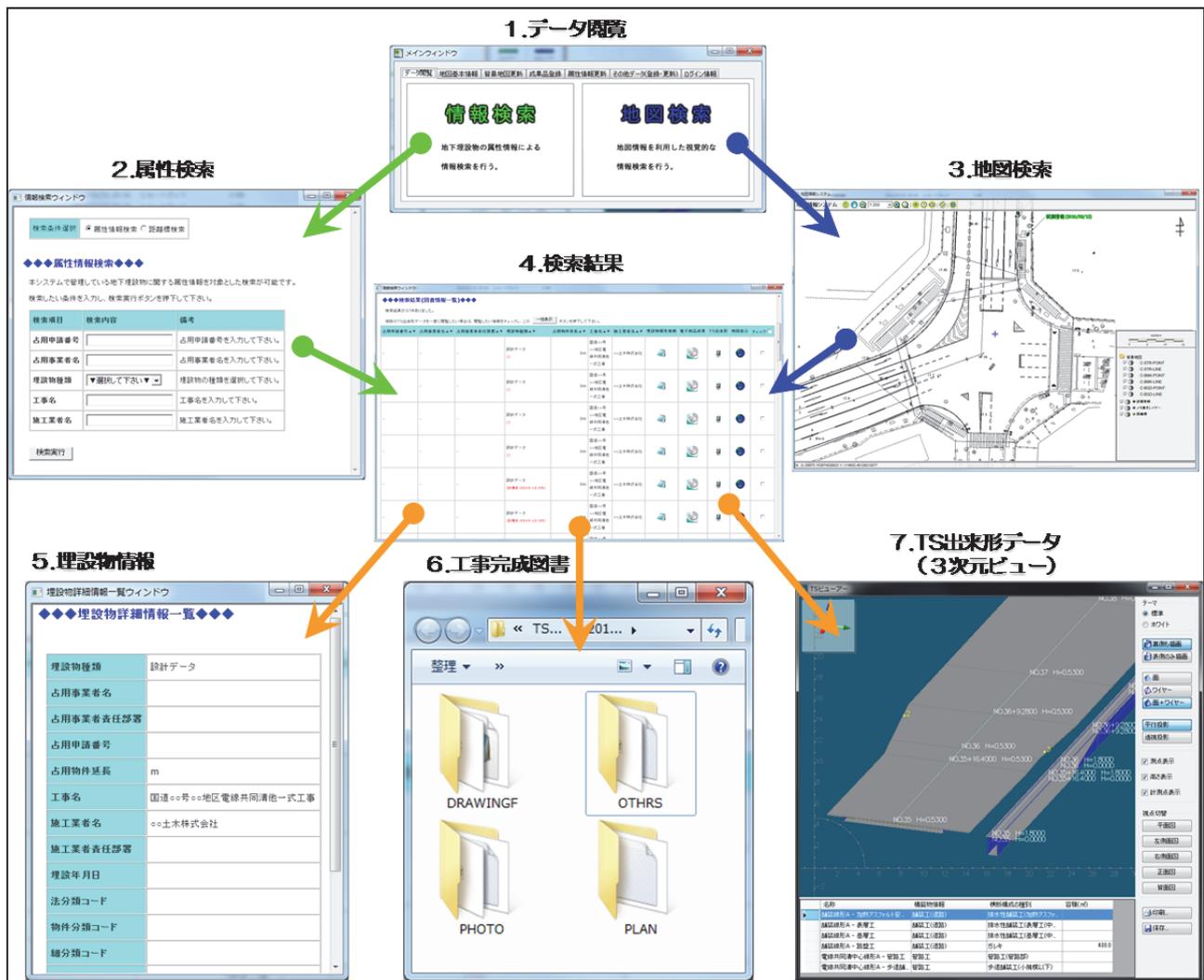


図2 埋設物管理ソフトウェアの操作の流れ

長大活断層地震を対象とした設計地震動の検討

Study on design earthquake motion taking account of long active faults

(研究期間 平成 23～25 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
研究官	松岡 一成
Researcher	Kazunari MATSUOKA

Level 2 earthquake motion (Type II) for highway bridges were formulated based on strong motion records of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake (M7.3). This study aims to investigate ground motion during earthquakes caused by long active faults and propose design earthquake motions taking account of long active faults that may generate earthquakes as large as M8.

〔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は、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、長大活断層の影響は考慮されていない。長大活断層の活動による地震は、国内の発生事例が少なく、既存の震源のモデル化手法および地震動の推定手法の適用性が検討されていないことから、本研究はこれらの事項について国外で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。

23年度は、長大活断層の活動による地震の強震記録を収集・整理するとともに、既存の震源モデル化手法の適用性と課題を調査した。また、強震観測施設の維持管理を行い、強震記録の取得、活用を継続するとともに、長大な断層面を有する地震の地震動特性を検討するため、東北地方太平洋沖地震で被災した橋梁地点において余震による地震動の計測を実施した。

〔研究内容〕

1. 長大活断層地震の強震記録の収集・整理

活断層地震に関しては、1995年兵庫県南部地震を超える規模のものが国内では1891年濃尾地震以来発生していないことから、国外で発生した長大活断層による地震の観測記録を収集・整理した。

2. 既存の震源モデル化手法の適用性

現在標準的に用いられている、地震調査研究推進本部の震源モデル化手法を長大活断層地震に適用する際の課題を、文献に示されている事例をもとに調査した。

3. 強震観測施設の維持管理と記録の活用

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。

また、東北地方太平洋沖地震の際に得られた強震記録を活用して、国道45号山田高架橋の地震応答解析を実施し、地震時水平力分散構造を有する橋を対象とする動的解析の適用性を検討した。

4. 被災橋梁地点の余震観測

長大活断層地震と同じく長大な断層面を有する東北地方太平洋沖地震の地震動特性を検討するとともに、被災した橋梁の被災メカニズムの解明等に資するため、被災橋梁地点の余震による地震動の計測を実施した。

〔研究成果〕

1. 長大活断層地震の強震記録の収集・整理

国外の地震の規模は通常、モーメントマグニチュード M_w で整理されているため、兵庫県南部地震の $M_w 6.9$ を超える内陸地震を USGS (米国地質調査所) のカタログから抽出した。その結果、強震計の設置数が増加し始めた1990年代以降では18地震が抽出された。これら18地震の強震記録が入手可能かどうかを調査し、1999年トルココジャエリ地震 ($M_w 7.6$)、1999年台湾集集地震 ($M_w 7.7$) をはじめとする7地震の強震記録を収集・整理した。整理した強震記録は、今後、長大活断層地震に適用可能な地震動推定手法を開発する際の検証データとして活用する。

2. 既存の震源モデル化手法の適用性

現在標準的に用いられている、地震調査研究推進本部の震源モデル化手法では、 $M_w 7.5$ 程度以上の地震の

震源モデルの構築に問題があることが指摘されている。具体的には、背景領域と呼ばれる、震源域のなかですべり量が相対的に小さい領域のすべり量が負の値になる問題がある。これは、アスペリティと呼ばれる、すべり量が相対的に大きい領域のすべりとは逆方向のすべりが背景領域で発生することになり、震源モデルとして不自然である。

調査の結果、動力学的な断層破壊の数値シミュレーション結果に基づく横ずれ断層の震源モデル化手法がごく最近になって提案されており、上記の問題は解消される見込みがある等がわかった。一方、その手法で構築される震源モデルを用いた地震動推定結果の妥当性、および縦ずれ断層の震源モデル化手法には課題があることがわかったため、今後検討を進める。

3. 強震観測施設の維持管理と記録の活用

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。また、不具合が見られた一部の機器については、状況に応じて修繕を行った。

山田高架橋の骨組みモデルに周辺地盤上で観測された加速度波形を入力する地震応答解析を実施した結果、橋桁の応答を再現するためには、積層ゴム支承の剛性を設計値の6倍にする必要があることがわかった。

この理由として、変形が小さい範囲ではゴムの剛性が高いこと、支承の上フランジとサイドブロックが接触している(図-1 参照)のために剛性が見かけ上大きくなったことが挙げられる。図-2の赤線は積層ゴム支承の初期载荷の軌跡、黒線は応力軟化現象が生じた後の軌跡を表しており、設計には通常、黒線の情報が用いられている。しかし、地震の際には、支承に大きなせん断ひずみが生じるまでは、赤線の軌跡を描くことが実験等でも確認されていることから、ゴム系支承を有する橋の動的解析に際しては、このような履歴特性の影響を適切に考慮する必要がある。

4. 被災橋梁地点の余震観測

被災橋梁地点近傍に図-3のような観測機器を設置し、余震による地震動を4ヶ月間余りにわたって観測した結果、297地震の記録が得られた。余震の地震動から本震の地震動を推定した結果の例を図-4に示す。これらの記録は今後、橋梁に作用した外力および被災過程の検討等に活用する予定である。

[成果の発表]

東北地方太平洋沖地震の強震記録による地震時水平力分散構造を有する高架橋の地震応答解析, 土木学会論文集 A1, Vol.68, No.4, pp. I_444-457, 2012.

[成果の活用]

次期道路橋示方書の改定に反映。



図-1 P3 橋脚上の支承の上フランジとサイドブロックの接触痕

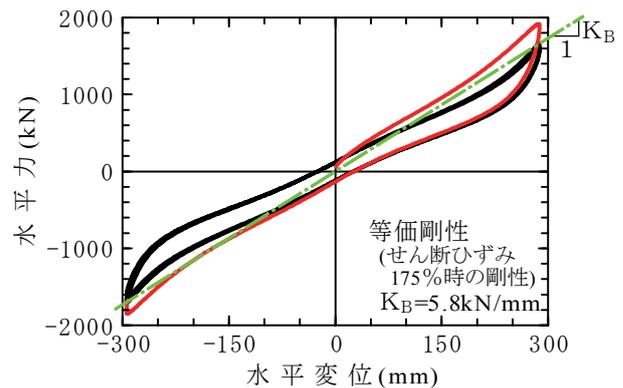


図-2 積層ゴム支承の小せん断ひずみ域での水平方向剛性



図-3 余震観測の状況

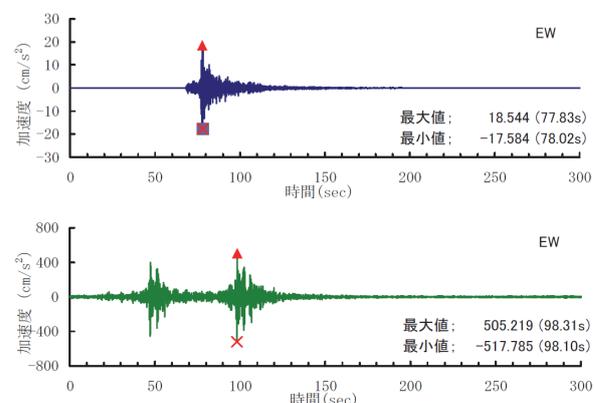


図-4 余震の地震動(上)から推定した本震の地震動(下)

道路構造物に作用する巨大地震の地震動・津波外力の検討

Study on earthquake and tsunami forces act on highway structures caused by giant earthquakes

(研究期間 平成 23 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

Design earthquake motion for highway bridges is studied taking account of coupling of source regions and long duration ground motions observed during the 2011 Tohoku earthquake. Tsunami forces acted on highway structures triggered by the earthquake are reproduced by numerical simulations of tsunami propagation and run-up using detailed terrain models.

[研究目的及び経緯]

東北地方太平洋沖地震は従来考慮されていなかった震源域の連動により発生した巨大地震であり、継続時間の長い地震動と極めて大きな津波が多数の地点で観測された。道路構造物にも甚大な被害が生じたものがあることから、本課題では、道路構造物に作用する巨大地震の地震動・津波外力に関する検討を行った。

具体的には、震源域の連動や継続時間が長い地震動特性を考慮して道路橋の耐震設計に用いる設計地震動の改定案を検討するとともに、詳細な地形モデルを用いた津波伝播・遡上解析等により、道路構造物に作用する津波外力を算出した。

[研究内容]

1. 設計地震動の改定案の検討

今後発生するプレート境界型地震の規模が、震源域の連動により、昨年度までの検討で考慮していたものよりも大きくなる可能性を考慮するため、千島海溝沿い、三陸沖～茨城県沖(東北地方太平洋沖地震)、駿河・南海トラフ～日向灘の3地域でモーメントマグニチュード $M_w 9.0$ の地震を想定して地震動分布を算出し、その結果をもとに地域別補正係数の改定案を作成した。

動的照査に用いる加速度波形については、継続時間が長い地震動の特性を考慮するため、昨年度まで検討していた 2003 年十勝沖地震($M_w 8.2$)に加え、東北地方太平洋沖地震の強震記録を振幅調整して作成した。

2. 道路構造物に作用した津波外力の再現

東北地方太平洋沖地震の津波の影響を受けた道路橋、取付盛土、道路盛土を対象に、詳細な地形モデルを用いた津波伝播・遡上解析を行い、対象構造物周辺の津波(高さ・流速・流向)を再現した。さらに、水理模型実験を数値シミュレーションにより実施する数値波

動水槽とよばれる数値モデルの内部に対象構造物をモデル化し、上記で再現した津波を入力して対象構造物に作用させる数値シミュレーションを実施することにより、対象構造物に作用する津波外力を算出した。

[研究成果]

1. 設計地震動の改定案の検討

地域別補正係数の検討にあたって発生を考慮した主要なプレート境界型地震の震源域を図-1に示す。これらの地震が発生した場合の地震動分布を算出し、その結果をもとに地域別補正係数の改定案を作成した(図-2)。ここで、強震記録の分析結果に基づき、短周期成分については地震規模の上限値 $M_w 8.3$ を設定して地震動分布を算出した。改定案では、プレート境界型の大規模な地震を想定したレベル2地震動タイプIの地域別補正係数 c_L が、駿河・南海トラフ～日向灘の沿岸地域で 1.2 に設定されており、標準(1923年関東地震

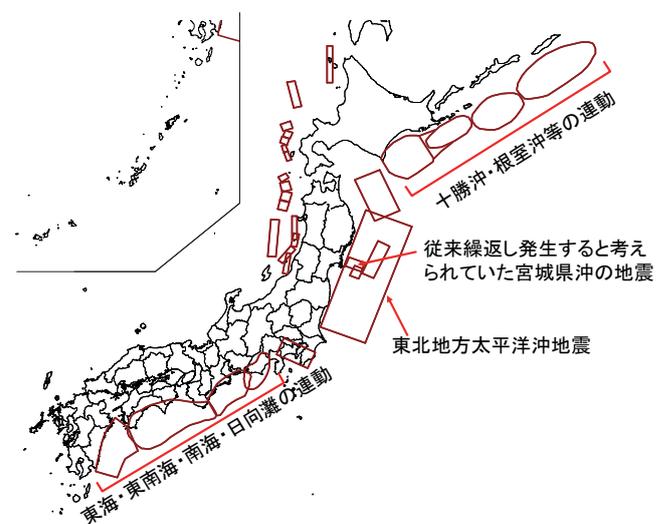


図-1 主要なプレート境界型地震の震源域

(M_w 7.9)の際の東京周辺の地震動を想定)よりも大きい設計地震動を用いることにしている。

東北地方太平洋沖地震の強震記録をもとに作成した、動的照査に用いる加速度波形の改定案の例を、改定前と比較して図-3に示す。これらは両者とも開北橋周辺地盤上(石巻市)で得られた強震記録を振幅調整して作成したものであり、改定前については1978年宮城県沖地震(気象庁マグニチュード7.4)の際に得られたものである。改定案は振幅の大きい2つの波群がみられる240秒間の波形となっており、従来よりも大幅に継続時間の長い地震動の影響を考慮することになっている。

2. 道路構造物に作用した津波外力の再現

図-4に例として、国道45号二十一浜橋を対象とした数値波動水槽解析の結果を示す。本橋は橋長約17mの単純桁橋であり、幅員8.3mの本線橋と2つの側道橋(海側は幅員2.5m、山側は2.7m)からなる。津波により橋台背面土工部と海側の側道橋の桁が流出する大きな被害が生じている。

解析結果から各橋桁に作用した水平方向の津波外力の時間的変化を算出したものが図-5である。図には、桁重量から概算した桁の流出に対する耐力をあわせて示してある。実際に流出した海側の側道橋では、波力が耐力を大幅に超過しているのに対し、流出しなかった本線橋と山側の側道橋では、波力が耐力と同程度以下である。ただし、海側の側道橋の移動は本線橋に拘束されるため、水平力のみでは流出を説明できない。

側道橋は桁高に対して2つの主桁の間隔が小さく、モーメントが発生しやすい構造特性であるため、水平力と上揚力により発生したモーメントにより海側の支承が鉛直方向に破壊したのち、大きな水平力により陸側の支承が破断、桁の流出に至ったと考えられる。なお、海側の側道橋が流出した後は本線橋に大きな波力が作用すると考えられるため、その影響を今後検討する必要がある。

【成果の発表】

国総研・土研東日本大震災報告会において報告した。

【成果の活用】

道路橋示方書V耐震設計編に規定される設計地震動の改定に反映された。

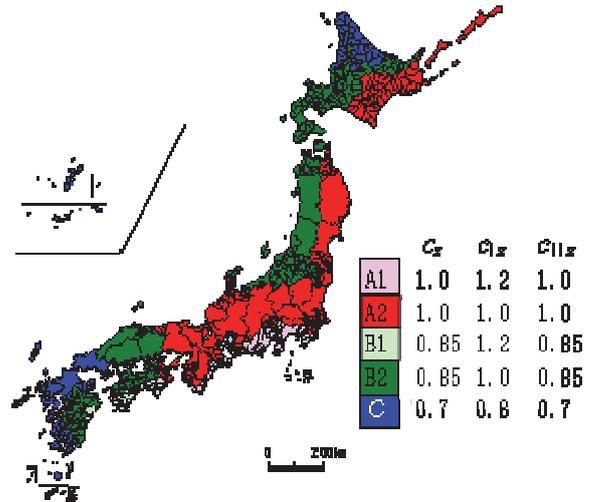


図-2 地域別補正係数の改定案

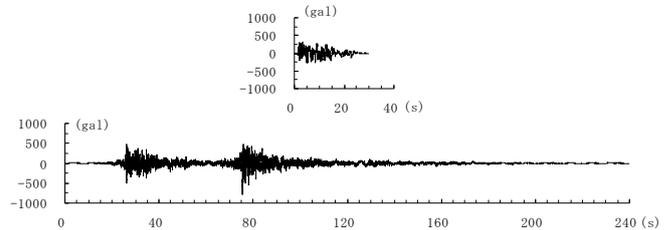


図-3 動的照査に用いる加速度波形の例
(I種地盤、上：改定前、下：改定案)

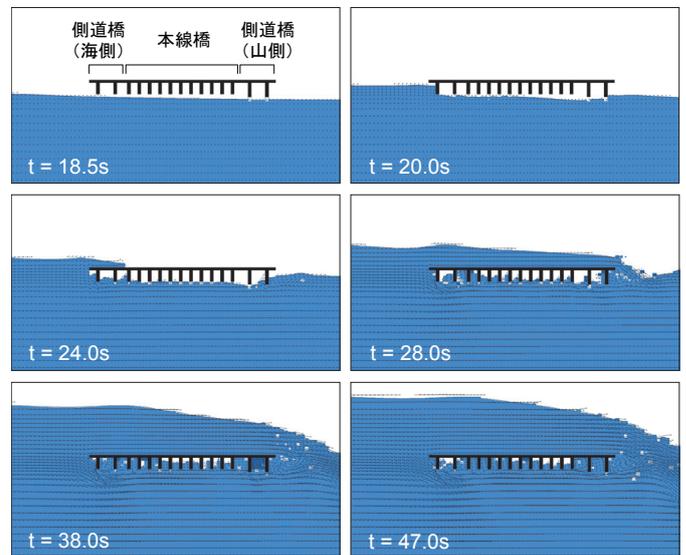


図-4 橋桁周辺の津波の数値波動水槽解析結果

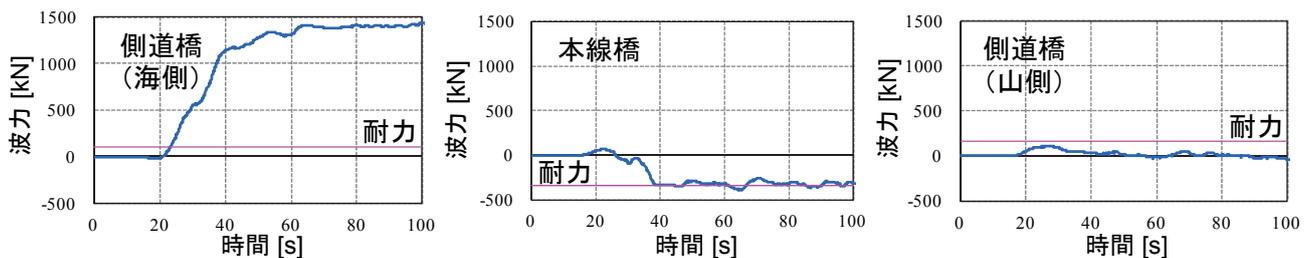


図-5 各橋桁に作用した津波外力の時間的変化と耐力の比較(水平方向)