

道路構造物の信頼性に関する調査検討

Study on reliability of road structures

(研究期間 平成 26～28 年度)

道路構造物研究部 橋梁研究室
Road Structure 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
山崎 健次郎
Guest Research Engineer Kenjirou YAMASAKI

NILIM studies reliability of road structures including non-structural members for the purpose of developing policies to prevent damage to third party. This paper specifies non-structural members attached to road structures, and divides them into some groups in terms of its risk of damaging to third party. Furthermore, this paper runs some numerical simulation to evaluate reliability of non-structural members and effect of the policies to improve reliability.

[研究目的及び経緯]

本研究は、道路構造物に統一的な信頼性の確保策の確立の一環として、これまで設計基準類において信頼性の観点からは統一的な安全余裕付与方法が確立されていない第三者被害防止に着目した構造設計手法の実現性を検討するものである。

平成 26 年度は、道路構造物の主たる使用目的と直接的に關係する構造全体の耐荷力性能の確保では第三者被害防止の安全性が保証されない場合の多い非構造部材に着目して、事象事例の調査、既存の非構造部材の情報収集及び第三者被害防止の観点からの分類を行うとともに、分類毎に材料等のばらつきを考慮した信頼性の試算を行った。

[研究内容及び成果]

1. 構造物の落下、転倒等に起因する事象事例の調査

第三者被害防止に着目した構造設計手法を確立するにあたっては、設計において念頭におくべき事故要因を特定する必要がある。そこで、管理者から公表された記者発表資料等、過去 10 年分の関連文献調査を行い、建築分野も含め構造物の落下や転倒に起因した事象事例を整理した。

その結果、計 72 件の事象事例が確認された。これらの事象事例の要因は複数が考えられる場合もあるなど特定することは困難であるものの、表-1 の 4 つに集約される。

なお、表-1 に示す事故要因の他、事故に関連して設置された委員会においては、1 つの部材の損傷から連

表-1 確認された事故要因

事故要因	例
耐久性不足	腐食により道路標識の根元が折損し倒壊
経年劣化のばらつき	一部の接着系ボルトで特に経年劣化が進行し天井板が落下
強度不足	強風により信号柱が根元から折損し倒壊
施工品質のばらつき	現地で施工された打込式ピンの引抜き抵抗 force にばらつきがあり看板が落下

鎖的に損傷が拡大した可能性や、複数の部材が同時に劣化した可能性が指摘された事例があった。

2. 非構造部材の情報収集及び分類

(1) 非構造部材の情報収集

非構造部材を構成する材料やその組み合わせのパターンは多種多様であり、これらにより第三者被害のリスクの程度も異なる可能性がある。このことから、普遍的な構造設計手法を確立するためには、まずは落下、転倒等により第三者被害を引き起こす可能性がある非構造部材のパターンを可能な限り漏れなく把握する必要がある。そこで、国管理国道における定期点検結果、総点検結果から非構造部材の情報収集を行った。

その結果、機能の観点からは表-2 に示す 26 種類の非構造部材が確認された。

(2) 非構造部材の分類

(1) で確認された多種多様なパターンでの非構造部材の第三者被害リスク評価方法を検討するにあたっては、予めこれらを第三者被害のリスクの大きさの観点から分類することが効率的と考えられる。そこで、各部材への作用力の向きが異なる構造を考慮することに着目

表-2 確認された非構造部材

路上	道路標識、道路照明、案内装置
橋梁	排水管、検査路、添架物、橋歴板、道路標識、道路照明、案内装置
歩道橋	道路標識、道路照明、排水受皿、排水管、目隠し板、裾隠し板
トンネル	道路照明、換気装置、内装板、警報表示板、天井板、吸音板、ケーブル類、標識、埋込外箱

し、支持形態（天井吊り下げ型、壁面設置型、柱型）の観点から代表的な事例を対象に、第三者被害の発生原因を整理した。整理にあたっては、ある事象の発生原因について論理的に枝分れ図を作る FT (Fault Tree) を作成し、第三者被害を引き起こす要因を漏れなく、かつ階層的に整理することとした（図-1）。

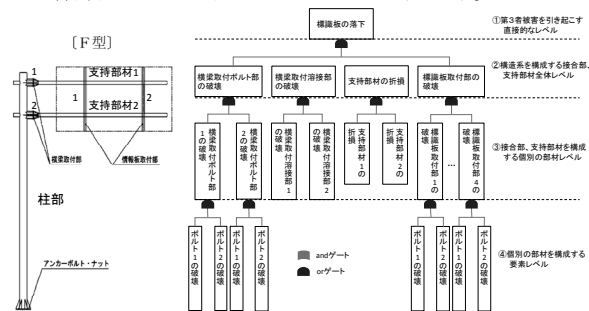


図-1 FTの作成例（F型標識、標識板の落下）

各非構造部材の FT を比較した結果、図-1 の各階層において、第三者被害のリスクの大きさの観点から分類するための以下の着目点が得られた。

- ①のレベル：該当する事象が複数の場合は、1つの場合と比較して構造系全体としてのリスクが大きくなる可能性がある。
- ②のレベル：該当する接合部・支持部材が複数の場合は、1つの場合と比較して構造系全体としてのリスクが大きくなる可能性がある。
- ③④のレベル：該当する部材や要素が複数の場合は、1つの部材や要素の破壊が上位事象に至らず、構造系全体としてのリスクが小さい可能性がある。

他方、以上のように非構造部材には各階層での分類の組み合わせが存在することから、単純な分類を行うことが困難であることが確認された。

3. 非構造部材の信頼性の試算

既存の非構造部材が有する第三者被害のリスクを定量的に把握するとともに、2. で整理した各着目によるリスクの違いを確認するため、F型標識（図-1）を対象に実データを用いて信頼性の試算を行った。

信頼性は、ISO2394 に定める指標 β を用いた。各部材や材料のばらつきは、基準類や各種文献を参考に設定した。なお、ここでは構造系の違いに着目するため、荷重は死荷重のみ考慮した。

試算の結果、F型標識の部材のうち支持部材は突出して信頼性が低く、構造系の弱点となっていることが確認された（図-2）。また、このように部材間での信頼性が調和していない非構造部材は、所要の信頼性を確保する上で非合理的な設計となっている可能性が示唆される。

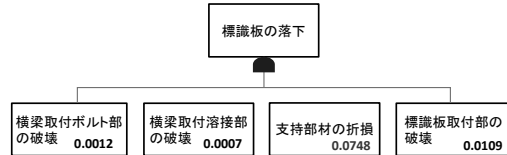


図-2 信頼性の試算結果（F型標識、対策無しの場合）

上記の他、構造系の信頼性を向上させる対策を講じたことを想定したケースで試算を行った結果、構造系全体としての信頼性は表-3 のとおりとなった。

表-3 信頼性の試算結果（F型標識）

ケース	内容	標識板の落下確率
0	対策無しのケース	0.07965 ($\beta=1.407$)
1	④のレベルの要素を増やす	0.07423 ($\beta=1.445$)
2	③のレベルの部材を増やす	0.00141 ($\beta=2.987$)
3	②のレベルにフェールセーフ構造を設置	0.00002 ($\beta=4.107$)
4	④のレベルの強度を上げる	0.07555 ($\beta=1.436$)
5	③のレベルの強度を上げる	0.01420 ($\beta=2.192$)
6	④のレベルでばらつきの大きい材料を排除	0.00674 ($\beta=2.471$)

ケース 1 とケース 4、並びにケース 2 とケース 5 の比較から、部材や要素の強度を向上させるよりも、部材や要素の数を増やす対策をとる方が、効率的に信頼性が向上する可能性が高いことが分かった。これは、部材や要素の数が増えることにより、接合部、支持部材全体としてのばらつきが小さくなるためと解釈される。これと同様にケース 6 から、ばらつきの大きい材料を排除することで信頼性が向上する効果が確認された。ケース 3 のフェールセーフ構造の設置は、全ケースの中で最も大きい信頼性向上効果が得られた。

【今後の課題】

普遍的な構造設計手法を確立するため、今年度収集した事故の要因を踏まえ、外力や経年劣化に起因した試算を行う必要がある。

【成果の発表】

各種論文で発表予定。

【成果の活用】

道路構造物の安全率等の評価マニュアル案を策定する。また、技術基準類の改定に反映させる。

部分係数設計法の信頼性向上に関する調査検討

Study on the enhancement in reliability of partial factor design method

(研究期間 平成 26～28 年度)

道路構造物研究部 橋梁研究室

Road Structure Department

Bridge and Structures Division

主任研究官 白戸 真大

Senior Researcher Masahiro Shirato

交流外研究員 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

To ensure required bridge performance based on reliability, NILIM has studied partial factor design bridge design specifications. The present study has verified the validity in load combinations and load factors for new structural types of bridge.

【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。しかし、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ており、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さ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し、国際的技術基準の標準書式でもある部分係数設計体系への転換を視野に必要な検討を進めている。過年度までに現行の道路橋示方書の個々の荷重の統計的な再評価を行い、従来設計とも同等程度の性能を有しつつ、確率的には一定水準の設計結果となるように荷重組合せ及び荷重係数を提案した。

本研究は、多様な構造形式や条件の道路橋に対する荷重組合せ及び荷重係数の適用性を確認し、必要に応じて見直すことを目的とする。

本年度は過年度に設定した荷重組合せ及び荷重係数を用いて、設定時の検討に用いた橋梁形式とは異なる形式に対して試設計(以下、部分係数設計という)された橋梁の信頼性解析を実施し、荷重組合せ及び荷重係数の適用性を検証する。

【研究内容及び研究成果】

1. 研究の方法

(1) 試設計対象橋梁

試設計の対象は、鋼橋20橋、PC橋13橋の計33橋である。橋梁形式は、まず従来から実績の多い形式(鋼桁橋、PCT桁橋等)を基本とし、さらに発生断面力に占める各荷重寄与率の大きな変化が予想される形式であ

る多点固定のラーメン橋及び採用実績が増えつつある新形式である鋼少数主桁橋をいくつか選定した。

(2) 信頼性解析

信頼性解析の評価方法を図-1に示す。信頼性解析では、各橋梁について、まず、設計供用期間(ここでは100年と想定)中に生じる断面力の最大値分布を過年度に提案した荷重シミュレーションにより求める。次に部分係数設計法の荷重組合せ及び荷重係数を用いた設計断面力を求める。そしてこれらを比較し、設計断面力の確率水準を評価する。なお、過年度に提案した荷重組合せ及び荷重係数も、許容応力度設計(以下、現行設計という)における断面力と荷重シミュレーションから得られた断面力最大値分布の結果を比較して得られたものである。以下に、概要を示す。

【確率水準①】荷重シミュレーションで得られる断面力100年最大値分布の収束性が高い(変動係数10%以下)場合は、大半の断面において現行設計による設計断面力が断面力100年最大値分布の非超過95%近傍に位置する。これに該当するのは、例えば主桁であり、活荷重と死荷重が発生断面力に大きく寄与すること、また100年間で断面力が最大となるのは渋滞時の自動車列の同時載荷状況であり、渋滞時の車列による断面力分布は、個々の渋滞状況ごとに大差がないことが理由と考えられる。

【確率水準②】荷重シミュレーションで得られる断面力100年最大値分布の収束性が低い(変動係数30%以上)場合は、多くの断面で設計断面力が断面力100年最大値分布の平均値から標準偏差の0.5倍減じた範囲内に位置した。これに該当するのは、例えば橋脚(基部)や柱頭部断面であり、ばらつきの大い地震の影響、

風、温度の影響などが発生断面力に大きく寄与する。

図-1に示す分類1~4について、分類1または2であれば設計断面力は、断面力100年最大値を捉えている。特に分類1の橋は確率水準①または②に相当する耐荷性能を有するように設計されていることを意味する。分類3の設計断面力は断面力100年最大値を捉えていないが、絶対値で見ると、確率水準①または②の断面力±10%以内であり、この分類の橋は確率水準①または②の耐荷性能を有する橋と同等の性能であることが期待できる。また、分類4は、設計断面力が断面力100年最大値を捉えていないだけでなく、橋に必要な耐荷性能が過大になるまたは不足する可能性が否定できないことを意味する。

3. 信頼性解析の結果

各部材における信頼性解析の結果を図-2に示す。図-2は、部分係数設計及び現行設計における設計断面力と断面力100年最大値分布の確率水準①または②の断面力との比率を横軸に、着目断面のうち、それぞれの比率に該当した断面数を縦軸としている。

(1) 主方向の検討結果

主桁の信頼性解析の結果を図-2(1)に示す。図-2(1)より、主桁における設計断面力は、非超過95%の標本値(確率水準①)との比較において、多くが分類1または3であった。一方、一部で分類4かつ部分係数の設計断面力が断面力100年最大値分布より小さくなっており、原因について今後検討する必要がある。以上は、鋼少数主桁橋でも同じ結果であった。次に水平荷重の影響が支配的になると考えられるラーメン橋の橋脚及びラーメン橋脚基部曲げモーメントの信頼性解析結果を図-2(2)に示す。平均値-0.5σの標本値(確率水準②)との比較において、全ての橋梁・着目断面で設計断面力は分類1または2であった。また、図-2(2)より、現行設計の断面力より部分係数設計の断面力の方が分類1に近く、断面力100年最大値を捉える傾向であった。

以上から、過年度までに設定した荷重組合せ及び荷重係数を用いた部分係数設計では、主に従来から採用

実績の多い橋梁形式に対しては、断面力100年最大値を過不足なく捉えられるようになってきていることを確認し、部分係数設計法を導入することで橋の性能の確からしさを定量的に実現できることが示せた。ただし、分類4のように必要な耐荷性能を満足しない部材・着目断面については、キャリブレーションなどの追加検討を行い、原因を解明する必要がある。

(2) 横方向の検討結果

上部構造の横方向の設計に着目し、対傾構における設計断面力の信頼性解析の結果を図-2(3)に示す。対傾構における現行設計の断面力は分類2であり、部分係数設計の断面力よりもかなり小さい。一方、部分係数設計の断面力は全ての橋梁・着目断面で分類1または2に該当するようになったことから、上部構造横方向についても荷重組合せ及び荷重係数のキャリブレーションを行うことで、橋の性能の確からしさを向上できると思われる。しかし、部分係数設計の設計断面力は、断面力100年最大値分における平均値-0.5σ(確率水準②)よりも大きく、むしろ平均値に近かった。荷重組合せを確認すると、部分係数設計と断面力100年最大値の各荷重成分とで必ずしも一致しないことから、過年度に提案した荷重組合せ及び荷重係数は、横方向の設計への適用性は低く、横方向を対象にキャリブレーションを行う必要があると考えられる。

4. 今年度の成果と今後の課題

従来から採用実績の多い橋梁並びに新形式である鋼少数主桁橋に対しては、部分係数設計を行うことで橋の性能の確からしさを定量的に照査できることを確認した。今後、採用実績が増えつつあるさまざまな新橋梁形式についても信頼性解析を行い、適用性の検証が必要である。また、過年度に提案した荷重組合せ及び荷重係数の適用性は高いものの、キャリブレーションの追加検討により、荷重組合せ及び荷重係数の追加及び見直しが求められることも確認した。

[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する予定である。

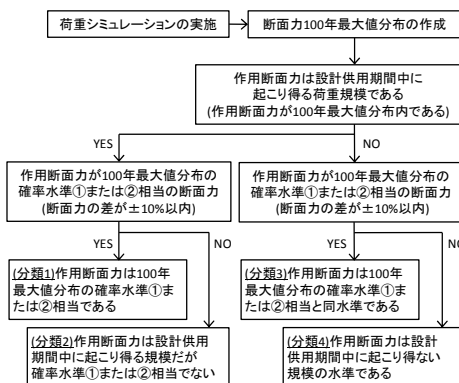
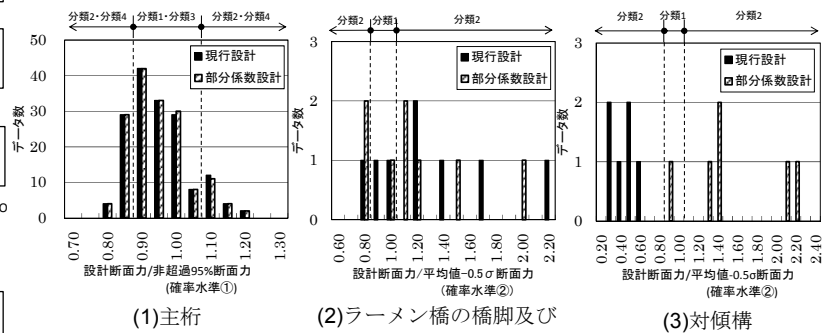


図-1 断面力の信頼性評価



(1)主桁

(2)ラーメン橋の橋脚及び
ラーメン橋脚(柱基部)

(3)対傾構

図-2 各部材における信頼性解析の結果

実品質に基づく初期品質の信頼性向上策や耐久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)

道路構造物研究部 橋梁研究室

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

横井 芳輝

Yoshiteru YOKOI

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, proposing a method to evaluate the durability based on actual construction quality control and assurance results by simple analysis models.

【研究目的及び経緯】

PC 橋では、図-1 に概念的に示すように、コンクリートが打設され硬化し、緊張力が導入されていく架設段階のいわゆる若材齢時に、温度やクリープ・乾燥収縮、鉄筋拘束及び段階施工に伴う材令差等によって部材内部の応力状態は刻々と変化する。そのためこれを適切に制御しなければコンクリートの発生応力が抵抗を超過してひびわれなどの初期変状を生じたり、設計上問題となる不適当な残留応力が残る危険性もある。本研究はこれらの架設時の複雑な応力条件を簡便に精度よく評価できる設計手法について検討するものである。

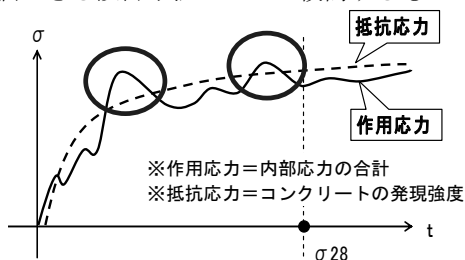


図-1 PC 橋の作用力と抵抗力の関係(概念)

精緻な三次元有限要素法を用いることで、これらの初期の段階での複雑な応力状態を精度よく求めることは可能であるが、実務設計においては細部構造や鉄筋配置などの試行錯誤が繰り返されるこの段階において精緻なモデルによる数値解析を、時系列を追って多数実施することは負担が大きい。またモデル化の自由度が大きく計算出力に対する統一的な照査基準を用意することも困難である。これらを踏まえて、終局

時のせん断耐力の評価法としては研究実績もある、格子解析手法の応用によって、PC橋の架設時の応力状態をできるだけ簡便かつ精度よく評価できる方法の実現性について検討を行った。

【研究内容及び研究成果】

3年間で実施した研究内容を下記に述べる。

- ①PC 部材の持続荷重による内部応力への影響に対して、現行基準との整合性の観点から鉄筋拘束の影響について供試体を用いた実測による検証を行った。(平成 24 年度)
- ②モデル橋梁に対して、三次元 FEM 解析を用いて簡易モデルの検証に必要な架設系から完成系までの詳細な部材各部の応力状態の把握を行うとともに、架設段階における作用応力超過の可能性について検討を行った。(平成 25 年度)
- ③格子モデルの応用により、三次元 FEM 解析よりも簡便に、かつ設計実務上必要な精度で架設段階の応力状態の照査が行える簡易モデルの実現性と課題について検討を行った。(平成 26 年度)

上記①～③の研究成果について、下記に述べる。

- ①(平成 24 年度) パラメトリックに条件を変えた供試体の実測により、軸方向鉄筋比が 0.5% を越えると、顕著に鉄筋拘束の影響が現れることを確認した。図-2 に計測結果を示す。
- ②(平成 25 年度) 三次元 FEM 解析を用いて、コンクリート硬化時に発生する温度応力やそれがひびわれに与える影響(ひびわれ指数)の解析を行った。

図-3のように、条件によっては応力が残留するとともに若材齢時の温度に起因するひびわれが生じる可能性が高い部分が生じることを把握した。

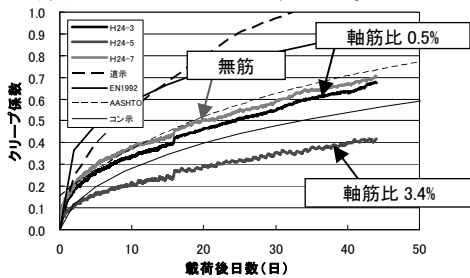


図-2 クリープ係数（軸鉄筋比の違い）

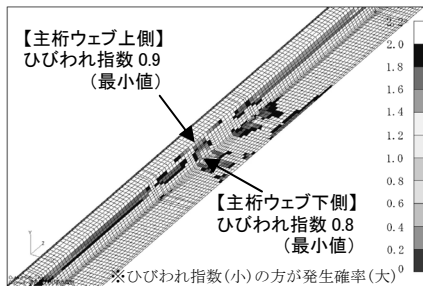


図-3 ひびわれ指数（初期の変状）
（ウェブ下側0.8→ひび割れ発生95%）

③（平成26年度）ウェブなどの版部材をはり要素で離散化して格子モデルに置換した二次元解析モデル（図-4）（以下、簡易モデルと称す）を用いた試算を行い、詳細にモデル化した三次元弾性FEM解析モデル（以下、検証モデルと称す）との比較を行った。図-5に試算結果の例（上縁と下縁の応力度）を示す。実線と破線はFEM解析結果、●印と▲印は簡易モデルの結果である。格子モデルによって、自重、プレストレス、温度、橋面荷重の各荷重ケースについて、多くの部材や部位で検証用の精緻な三次元FEM解析による場合とほぼ同レベルの応力状態の評価が行えることが確認された。

しかし、例えば簡易モデルで得られた節点変位を検証モデルとは別に作成したシェル要素の部分FEMモデルに強制変位として与え主応力を算出して、検証モデルの結果と比較した結果、支間中央部では最大主応力の値や方向が両者でよく一致するものの（図-6）、支点横桁付近のように顕著な乖離がみられる部位もあることが確認されている。簡易モデルの適用条件と精度を見極めるためには引き続き検証ケースを増やした検討が必要である。

また、上記の二次元の簡易モデルを三次元に拡張し、上・下床版の版構造も格子モデルとした三次元簡易モデル（図-7）を構築した。ウェブや床版の剛度設定方法等は二次元の簡易モデルと同じとし、三次元簡易モデルおよび検証モデルにおける分割施工の材令差について検証したが、簡素な格子モデルでも詳細なFEM解

析に比較的近い応力状態の推定結果が得られることがわかった。

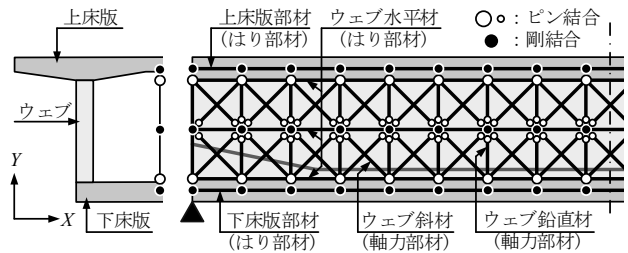


図-4 簡易設計手法に用いる格子モデル

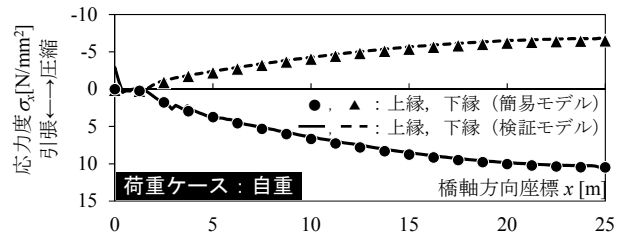


図-5 上・下縁応力度分布【図示範囲：0.5L】（例：自重状態）

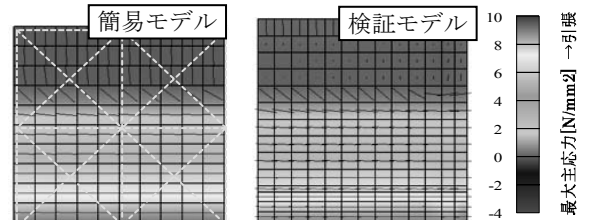


図-6 ウェブ最大主応力の比較【支間中央部】（例：自重状態）

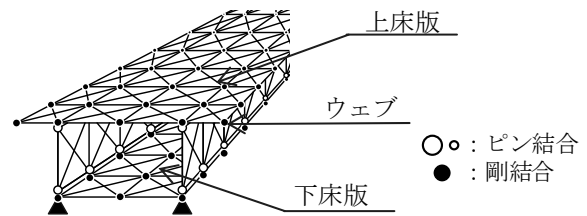


図-7 三次元格子モデル(概念)

【今後の課題】

終局時のせん断耐力の評価法にも実績のある格子モデル解析によって、通常設計で用いられる骨組みモデルだけでは評価困難なPC部材の詳細な応力性状を表現できる可能性の高いことを示した。実務設計に用いる観点からは、格子モデルは、はり要素で離散化されているために計算応力の方向が特定されており、道路橋示方書などの技術基準に定められた許容値や制限値と対比するための照査ルールを確立しやすと考えられるが、多種多様な条件の道路橋への適用性を見極めと照査ルールの確立にはさらに検証ケースを増やす必要がある。

【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。

高度な構造解析手法を用いた安全性及び耐久性評価法の基準化に関する調査検討

Study on standardization of evaluation technique of safety and durability for highway bridges with advanced analytical method

(研究期間 平成 26～28 年度)

道路構造物研究部 橋梁研究室
Road Structure Department
Bridge and Structures Division

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
研究官
Researcher
交流研究員
Guest Research Engineer

玉越 隆史
Takashi TAMAKOSHI
白戸 真大
Masahiro SHIRATO
横井 芳輝
Yoshiteru YOKOI
水口 知樹
Toshiki MIZUGUCHI

The Author studies evaluation technique of safety and durability for highway bridges with advanced analytical method to revise the specifications. At first, the application of the analysis with the constant shear flow panel to design highway bridges is investigated by comparing with the conventional grillage analysis and FEM. Next, rule to make an analytical model and evaluation method of response by the analysis are examined.

〔研究目的及び経緯〕

道路橋の設計体系は、初等はり理論に基づく骨組解析を前提として、部材の基準耐荷力曲線、安全率、及び許容応力度等の規定を公称応力で整理して構築されている。しかし、耐震補強構造や疲労のような耐久性上の損傷事例では、局所変形や2次応力の影響など、必ずしも棒モデルを用いた計算では得られない局所的な挙動に起因することも多く、骨組解析による再現には限界があるため、解析的検討に当たっては、高度な計算モデルとしてFEM解析が用いられている。現状の道路橋の設計は、骨組解析から公称応力を算出して行う部材の設計以外に、FEM解析による局所的な変形や応力性状の評価を併用することがより一般的になりつつある。

新設橋の設計においては、どの部位あるいは何の照査にFEM解析を用いた局所的な挙動の評価が必要となるか、実際の損傷事例や設計者の経験からの判断にはばらつきが生じることから、定量的な判断による設計品質の確保が課題と考えられる。

以上より、本研究は、道路橋の安全性及び耐久性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 26 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

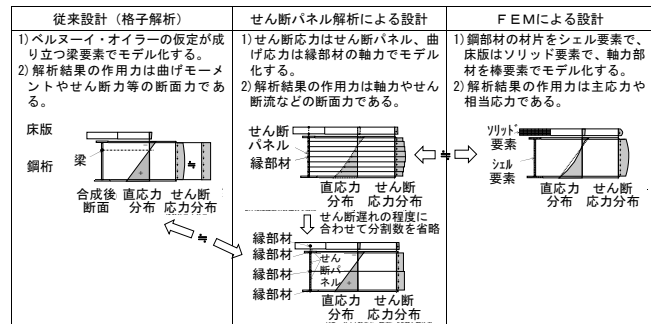


図 1 各解析手法の理論と特徴

を行った。

〔研究内容及び成果〕

1. 解析手法の違いによる照査内容の特徴

従来の格子解析を用いた橋梁設計の各手続きに関する課題、または検討余地を整理し、一定せん断流パネルを用いた解析 (以下、「一定せん断流パネル解析」という)、または FEM 解析を用いた場合における橋梁設計の各手続きを横並びで比較する。各解析手法の理論と特徴を図 1 に示す。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る曲線少数 I 桁橋、曲線細幅箱桁橋、方杖ラーメン橋、及び単弦ローゼ橋とした。

一定せん断流パネル解析及び FEM 解析では 3 次元の方向に要素を配置できることから、格点部や 2 次部材

などの局所のモデル化が可能になり、その結果、主要な部材の設計を行うための全橋モデルを用いて局所の作用応力などの応答値の算出も可能なことを明らかにできた。また、部材の設計に必要な公称応力を算出するには、FEM 解析では解析結果に対して後処理が必要になるのに対して、一定せん断流パネル解析では直接算出できることがわかった。

2. 一定せん断流パネル解析を用いた試設計

一定せん断流パネル解析を主体とした設計を行う場合、公称応力による部材の設計と複雑な応力性状となる局所的な部位の評価を同一の解析モデルで合理的に行うことができることを検証するために、全橋モデルを用いて、局所の応力性状の評価のための試設計を行った。対象は局所の応力性状に特徴が現れやすいと考えられる4つの橋梁形式とし、ここでは単弦ローゼ橋を例として示す。図2に示すように、支間中央部の吊材と鋼床版との接合部における疲労照査を行った。吊材としての鉛直方向の応力振幅のほか、3次元にモデル化できることから鋼床版上に疲労設計荷重を載荷し、鋼床版としての応力も考慮した橋軸直角方向の応力振幅も算出した。その結果、複雑な応力性状となる部位において、想定する疲労損傷毎のそれぞれの向きの応力振幅を、複数の断面力の同時性を考慮して算出できることがわかった。全橋モデルを用いて局所の応力状態を解析より把握できることから、部材間接合部などの局所的な部位の安全性や疲労耐久性に関する評価を、部材の断面計算による公称応力を用いた各限界状態の照査・断面の決定と同じ設計段階で行うことによる、定量的な判断を踏まえた設計品質の信頼性を向上させる手法を提案することができた。

3. 一定せん断流パネル解析のマニュアル化の検討

解析から得られる応力は、要素分割の程度によって値が異なる。解析モデルの違いや解析を行う設計者の技量の違いによらず道路橋示方書で求められる設計の品質の信頼性を確保するため、一定せん断流パネル解析に関する解析モデル作成の要領を確立することを目的に、要素分割に関する検討を行う。例として、図3に、鋼連続合成2主I桁における床版の主桁作用の幅員方向に分布する曲げ応力度と要素分割数の関係を示す。

桁橋の場合、合成桁の床版や鋼床版桁の鋼床版デッキのせん断遅れによる曲げ応力分布は、2次放物線で近似できるという Reissner の仮定が既往の研究によって確認されている¹⁾。これに対して、主桁間を8分割、4分割、2分割の3種類の解析結果を示す。2分割では主桁間の応力分布が三角形形状となるものの、4分割及び8分割では2次放物線となる曲げ応力分布を再現で

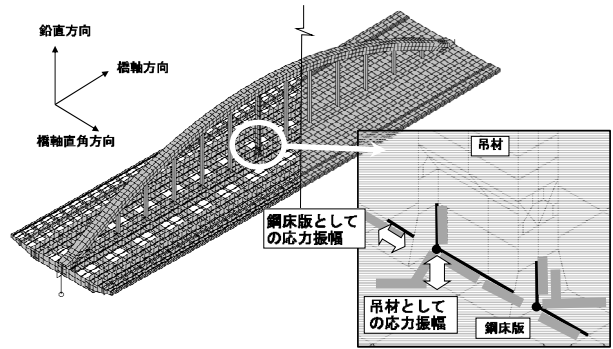


図2 単弦ローゼ橋の解析モデル図

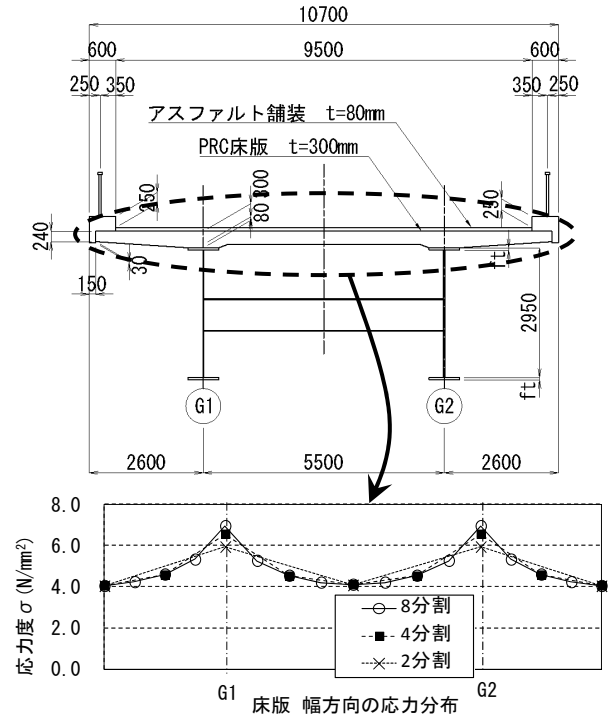


図3 床版の幅方向の要素分割数と応力分布

ることがわかった。主桁から外側の張出部も主桁間と同様に、4分割以上で解析の精度が確保されることがわかった。構造力学による理論解、及び要素分割数の違いによるパラメトリックな検討から、普遍化に向けた課題の抽出を行った。

[今後の課題]

部材設計の各項目毎の普遍的な解析モデル設定基準の確立。

[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。

[参考文献]

1) 中井博, 北田俊行: 鋼橋設計の基礎, 1992.5, 共立出版株式会社

高強度鉄筋コンクリート橋脚及び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 standardization of design of piers with high strength reinforcement and high strength bolted friction joints with super high strength bolts for highway bridges

(研究期間 平成 24～26 年度)

道路構造物研究部 橋梁研究室
Road Structure Department
Bridge and Structures Division

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
研究官
Researcher

交流研究員
Guest Research Engineer

玉越 隆史
Takashi TAMAKOSHI
白戸 真大
Masahiro SHIRATO
横井 芳輝
Yoshiteru YOKOI
水口 知樹
Toshiki MIZUGUCHI

The Author studies design methods of piers with high strength reinforcement and high strength bolted friction joints with super high strength bolts for highway bridges. The design methods are expected to improve construction qualities and to reduce construction cost. The author examines the applicability of those materials for highway bridges related to the strength and the durability.

[研究目的及び経緯]

建築等の他分野では、これまで道路橋で採用されていない、より高強度の材料が採用されている場合がある。これらを道路橋に採用できる場合、部材の小型化、施工数量の削減等によるコスト縮減等、道路橋の建設時及び補修・補強時におけるコスト縮減に資することが期待される。

鋼道路橋の架設における鋼材の連結は、溶接による他、高力ボルトを用いた摩擦接合継手(写真 1)が多く用いられている。しかしながら、1964年に従来の高力ボルト(S10T, F10T)より高強度のボルト(F13T, F11T)が採用されたものの突然F13Tに脆性的に破壊(遅れ破壊)する現象が生じ、その後1975年頃からF11Tにも同様の損傷が発生したことから、1980(昭和55)年の道路橋示方書には採用されなくなった。また、1991(平成3)年旧建設省道路局事務連絡により、順次遅れ破壊の懸念のあるボルトの取替えや落下防止等の対策が行われている。このように高強度のボルトには長期耐久性への懸念があったことから、以降、鋼道路橋へ高強度のボルトの適用性に関する研究も行われていなかった。

一方、近年耐遅れ破壊性能を改善した超高力ボルト(F14T)が開発され、建築分野においては採用実績を増やしている。そこで、超高力ボルトの道路橋への適用について検討を行った。

道路橋に適用する場合には、主に屋外での使用における環境の厳しさ(特に、遅れ破壊に与える影響)、施工方法、多行多列ボルト継手等の諸元が建築分野とは異なることから、遅れ破壊を含む長期耐久性及び施工方法に関する品質の要求水準について明らかにする必要がある。

また、道路橋で用いられているS10T, F10Tに準じた適用条件における超高力ボルトF14Tの継手性能を明らかにするため、標準すべり試験(図2)¹⁾、桁部材の接合部の曲げ試験(図3)及び数値解析を行った。

[研究内容及び成果]

1. 耐遅れ破壊性能に関する検討

耐久性の検討では、遅れ破壊の原因となるボルト材料の水素量測定試験、腐食促進試験(写真2)、既設橋の高力ボルト腐食調査等を行った。腐食促進試験とは、鋼板に締付けたボルトを観覧車のように回転する装置に設置し、室内常温の3.5%食塩水中への浸漬、引き上げによる乾燥を繰り返すことで道路橋の供用時よりも腐食を促進させるものである。腐食促進試験による経過年数とボルトへの侵入水素量の関係を図1に示す。計測位置は侵入水素量が多いと想定されるねじ先端部である。これより、裸仕様のF14TはS10Tより侵入水



写真1 ボルトを使用した鋼橋の摩擦接合継手の例 写真2 腐食促進試験

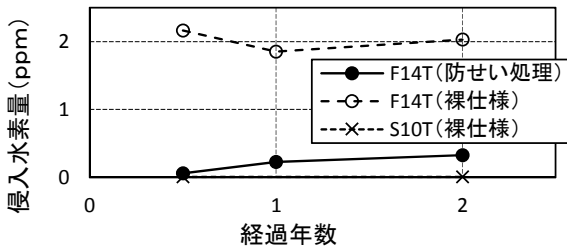


図1 腐食促進試験によるボルトへの水素浸入量素量が多いことがわかる。ただし、F14Tに防せい処理を施した場合、侵入水素量は大きく低下し、S10Tと同等の値を示すことがわかった。F14Tは防食することで、耐遅れ破壊性能が確保されることを明らかにできた。

2. 摩擦接合継手の継手性能に関する検討

超高力ボルトを用いた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・母板の板厚・母板の材質・ β (すべり/降伏耐力比)・フィラーの有無・肌すき・多列等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た²⁾。接合面処理を有機ジンクリッチペイントとした場合は、すべり係数が0.20~0.25と低い値を示したものの、無機ジンクリッチペイントまたは粗面とした場合は、道路橋示方書に規定されたすべり係数を超過確率99.9%以上で確保できることがわかった(図4)。

桁曲げ試験では、標準すべり試験と異なり、桁の曲げ変形によりボルト位置ごとのフランジ等の板厚減少量に差が生じたことが原因と推定される、ボルト位置ごとに異なるボルト軸力の変動を明らかにした(図5)。FEM解析からもボルトごとの軸力の変動の程度が異なることを再現できた。鋼道路橋での曲げに対する使用状況に近い作用力環境を再現した桁曲げ試験においても、試験直前のボルト軸力から整理したすべり係数は、道路橋示方書に規定されたすべり係数 $\mu=0.45$ を上回り、実橋への適用可能性を示すことができた。

3. 成果まとめ

様々な検証の結果、現行のS10T、F10Tと同様の継手構造や規模、板厚やボルト配置等の適用範囲内であれば、使用できる可能性が高いと結論づけられた。

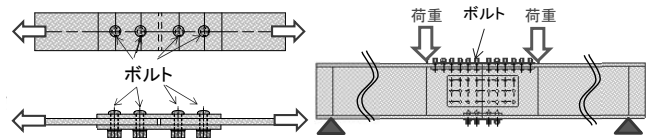
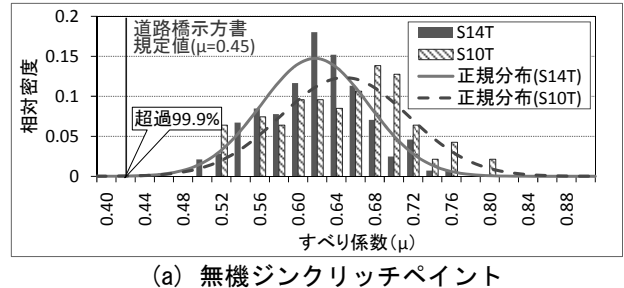
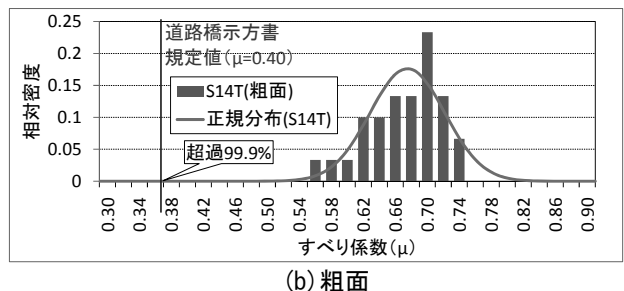


図2 標準すべり試験 図3 桁曲げ試験



(a) 無機ジンクリッチペイント



(b) 粗面

図4 標準すべり試験によるすべり係数の分布

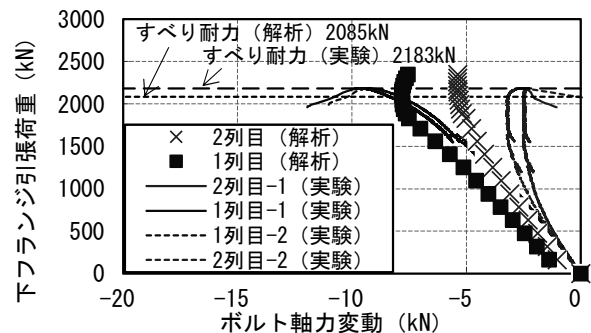


図5 桁曲げ試験におけるボルトの軸力変動

[今後の課題]

超高力ボルトの適用性の拡大、遅れ破壊特性のさらなる向上、及び実環境下での実績の蓄積による評価手法の確立。

[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。

[参考文献]

- 1) (公社)土木学会：鋼構造シリーズ15 高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案), 2006.12
- 2) 玉越ら:超高力ボルトの橋梁分野への適用に向けた各要因の影響, 土木技術資料, Vol.55, No.5, pp.34~37, 2013.5

土中構造物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 the earthquake damage mechanisms and seismic performance requirements for earth structures

(研究期間 平成 24-26 年度)

道路構造物研究部 構造・基礎研究室
Road Structures Department
Foundation, Tunnel and Substructures Division

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher

間瀬 利明
Toshiaki MABUCHI
西田 秀明
Hideaki NISHIDA

This study is conducted to make clear the earthquake damage mechanism to propose the seismic performance requirements for earth structures such as culverts and retaining wall with soil reinforcement. It was mainly shown that simplified seismic performance verification method for the large cross sectional culverts and requirements for ensuring the seismic performance of the earth structures were proposed.

[研究目的及び経緯]

本研究は、道路のカルバートや補強土擁壁など主として土以外の材料も用いて構成される土工構造物を対象に、耐震性能水準、及び安全性・修復性照査の基準化方法の確立を目的として、これらに必要となる被災事例の分析や、耐震性能の抽出、定量的照査基準策定のために必要な分析、評価等を行うものである。道路機能確保の観点からカルバートや補強土擁壁などが有すべき性能水準や相互の整合性について現行の技術基準類を整理分析した。また、大規模地震時における挙動に不明な点が多く耐震性能の照査方法に統一的な基準が示されていない大型カルバートについて地震被害メカニズムの解明及び耐震性能の照査法、並びに耐震性確保に必要と考えられる事項について検討した。

[研究内容及び成果]

1. 道路土工構造物に関する技術基準の分析

カルバート及び補強土擁壁を対象に、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要求性能、照査項目、制限値・許容値、構造細目、施工や維持管理における前提条件等の観点から整理を、性能規定型的设计体系に転換している道路橋示方書(以下、道示)との対比する形で整理分析した。具体には、道示で示される内容を(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、に分類したうえで整理した。

この結果、例えば、カルバートでは、カルバート全体としての要求性能は道路土工—カルバート工指針(以下、指針)に示されているものの、カルバートを

構成する部材等の具体的設計や施工との対応が明確でないものが多いこと、標準的でない条件の場合に必要な性能を満たすための方法が特定しがたい点などがあることが明らかとなった。

2. カルバートの地震被害メカニズムと耐震性能の照査法

過年度に(独)土木研究所とともに実施した幅もしくは高さが指針で示されている慣用設計法の適用範囲を超えるボックスカルバートの1/3縮小モデル5体に対する正負交番載荷実験について整理を行った。この結果、せん断変形角(ここでは頂版と底版の変位差をカルバート高で除したものとす)が概ね1/300で鉄筋が降伏し、6/300を超えると最大水平荷重に達したのち耐力低下し曲げ破壊や主鉄筋段落し位置でのせん断破壊を生じ終局状態に至るという共通した特徴が見られた。これより、ボックスカルバートにおける耐震安全性に対する限界値としては、せん断変形角6/300程度を1つの目安とすることができると考えられる。

次に解析的手法により地震時損傷メカニズムを検討した。カルバートを単純支持された非線形骨組としてモデル化し、頂版に水平載荷する荷重漸増解析により荷重—せん断変形関係を求め、各部材の損傷進展状況を推定した。部材はファイバーモデル、材料の応力—ひずみ関係は、鉄筋はバイリニア、コンクリートは道示Ⅲのモデルを用いた。なお、支点条件の違いが軸力に影響しないように底盤に偶力を作用させた。

さらに、地震時にカルバートに生じる最大応答せん断ひずみを図-1に示す手法により求めた。この方法は、カルバートのせん断剛性—せん断ひずみ関係を、前述

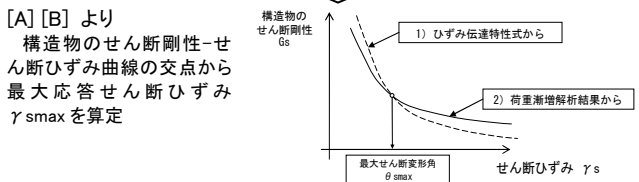
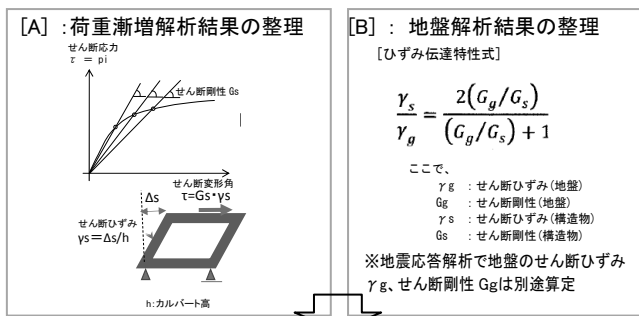


図-1 最大応答せん断ひずみ算定手順

の荷重漸増解析による荷重-せん断変形関係を換算して得る方法と(図-1[A])と、地震応答解析により算出した地盤のせん断ひずみ及びせん断剛性を理論的に導かれるひずみ伝達特性式に代入して得る方法(図-1[B])により導出し、この交点として最大応答せん断ひずみを求めるものである。なお、ここでのせん断ひずみは頂版と底版の変位差をカルバート高で除したものとされており、結果的に前述のせん断変形角と同じとなる。

本手法の適用性の検証するために、1995年兵庫県南部地震で被災した大開駅を対象に解析を実施した。なお、当該構造は開削トンネルであるがカルバートに類似した構造であることから損傷事例として対象としたものである。荷重漸増解析により得られたせん断応力-せん断ひずみ関係を図-2に示す。この事例では、地震時に中柱が破壊したが、本解析においても中柱の圧縮側鉄筋が最初に降伏した後、中柱下端・上端の圧縮コンクリートが終局ひずみに達し、中柱から損傷する結果となったこと、また、算定された応答せん断ひずみの範囲(0.0048~0.0256。開削埋戻し部の有無による地盤ひずみの評価の違いにより応答値に幅があることを考慮)内でこれらの損傷が生じたことから、破壊に至る状況を概ね表現できていると判断できる。また、2004年新潟県中越地震で強震動を受けたものの構造本体の損傷が無かったカルバートについても同様に検証した。解析では、一部部材が降伏したが終局に至る応答は生じなかったことから、本手法に基づきボックスカルバートの耐震性は概ね判断できると考えられる。

以上の手法を用いて、規模の小さな剛性ボックスカルバートと同様に、常時荷重のみを考慮して設計した場合に大型ボックスカルバートが有する耐震性について試算した。試算結果例を表-1に示す。ここで地盤ひ

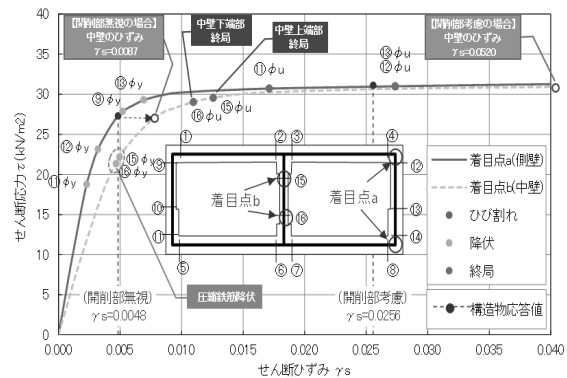


図-2 せん断応力～せん断ひずみ関係

ずみ及び地盤剛性は、道路橋示方書に規定されるL2地震動I種地盤の波形を露頭基盤相当と仮定し、一次元地震応答解析より求めた。最大応答せん断ひずみは、土かぶり大きい場合(5, 10m)は前述の実験により得られた耐震安全性の限界の目安(6/300)に達しなかったが、土かぶりが非常に小さい場合(0.5m)はこの目安を上回るケースがあった。後者のケースで応答が大きくなる要因としては、地表面近くでは地盤のせん断ひずみが大きくなることや、土かぶり厚が大きいカルバートに比べると部材厚が薄いことが考えられる。しかし、土かぶりが小さいカルバートで地震時の損傷が必ずしも多くないこと、また前述の適用性を検証した事例がいずれも土かぶり厚が5m程度を超えるものであったことを踏まえると、土かぶりが小さい場合への適用性に限界があるとも考えられるので、この点の検証が必要である。

表-1 試算結果(タイプII地震動II種地盤の例)

ケース	土かぶり厚(m)	内空幅(m)	内空高(m)	連数	部材厚(m)				応答ひずみ
					頂版	側壁	底盤	中壁	
A	0.5	6.5	5	1	0.4	0.4	0.4	—	0.0278
A'	0.5	6.5	5	1	0.5	0.5	0.5	—	0.0213
B	5	6.5	5	1	0.6	0.6	0.7	—	0.0079
B'	5	6.5	5	1	0.9	1.0	1.1	—	0.0057
C	10	6.5	5	1	1.0	1.0	1.1	—	0.0024
D	0.5	14	5	1	0.9	1.1	1.1	—	0.0072
E	5	14	5	1	1.7	2.0	2.0	—	0.0020
F	0.5	24	5	2	1.1	1.1	1.3	0.6	0.0241
G	5	24	5	2	1.6	1.6	1.8	0.6	0.0080

3. カルバート等に発生している不具合と要求性能の整理

各地方整備局で実際に施工された土工構造物(カルバート9箇所、補強土擁壁3箇所ほか)や内空幅6.5m以上の大型プレキャストカルバート344基の点検結果を収集、分析した結果、接合部からの漏水や土砂流出、頂版や側壁のひび割れが比較的多く見られた。これらの不具合が生じると、断面剛性が確保されないなど耐震性確保に必要な前提条件を満たさなくなるため、このようにならないよう設計することも耐震性確保のための要求事項に考慮する必要がある。

[成果の活用]

道路土工基準や道路技術基準の改定に活用する。

土中構造物等の要求性能及び基準体系に関する調査検討

Study on required performance and standards of underground structures

(研究期間 平成 26～28 年度)

道路構造物研究部 構造・基礎研究室

Road Structures Department

Foundation, Tunnel and Substructures Division

室長

Head

主任研究官

Senior Researcher

間渕 利明

Toshiaki MABUCHI

稲本 義昌

Yoshiaki INAMOTO

Several domestic and overseas design specifications for the underground structures such as culverts and retaining walls were investigated to introduce the design standard based on performance based design concept and the maintenance and repair standard.

The design loads which are used to design of the lining of road tunnel were also conducted by three techniques.

〔研究目的及び経緯〕

本研究では、土中構造物等の設計基準の性能規定化と維持修繕基準の策定のため、国内外の基準や動向の調査、点検結果の分析を行う。また、要求性能や、設計荷重、安全性の定量評価法や信頼性向上のための初期品質の管理水準について調査を行うことを目的としている。

本年度は、擁壁、カルバート、シェッドなどの土中構造物等を対象に、設計基準の性能規定化と維持修繕基準の策定のために必要となる国内外の設計基準における要求性能や設計荷重に関する動向の調査、及び点検結果等の整理を行った。また、道路トンネルの覆工の設計に用いる荷重の検討のため、施工時の計測B結果を用いてFEM解析、FRAME解析、側壁の軸力に着目した釣り合い計算の3手法で支保工に作用する荷重を算定した。

〔研究内容及び成果〕

1. 国外の設計基準に関する調査・整理

国外の設計基準に関する文献を国立情報学研究所のCiNii Articlesを用いて検索し、検索した中から有用と思われる道路土工、土工構造物の性能規定、維持修繕に関する13の文献を収集した。

収集整理した結果、盛土、切土では要求性能、性能照査はほぼ日本と同様であった。維持修繕に関しては各国とも記述が見られなかった。また、土工構造物については、日本以外は限界状態による照査を求めていること等がわかった。

2. 土工構造物や構成部材・材料等に関する要求性能の整理

道路橋示方書における体系に沿って以下の4項目

に分け、道路、鉄道、建築および原子力等の土工構造物（擁壁（補強土壁除く）、シェッド）に関連する指針を比較整理した。

(A) 構造物・部材・材料に関する要求性能

(B) 性能を満足するために設計において照査する項目

(C) 制限値・許容値、構造細目

(D) 施工、付属物の設置および維持管理などの前提条件

擁壁に関しては、鉄道では他の構造物の性能と統一を図り、性能照査型設計法を採用していた。また、構造物の安全性以外にも、使用性や復旧性の性能項目を例示していた。シェッドに関しては、落石対策便覧および道路防雪便覧だけでは詳細に設計できないため、北海道、北陸地方整備局では上記便覧を補足する形で指針を整備していた。鉄道は落石衝撃力を鋼製、RC・PC製で使い分けていた。

維持管理・補修のしやすさを考慮した設計等に関する整理の結果、維持管理・補修のしやすさを考慮した設計、リダンダンシーの確保について、直接的な記載内容は見当たらなかった。

3. 道路トンネルの損傷と補修・補強等に関する調査・整理

外力対策（盤ぶくれ、膨張性土圧）を行った5トンネルについて、変状状態、対策内容（工法等）、設計法の整理と、対策後の変状結果について、担当事務所より資料を収集し、整理した。（表-1）

直近の各トンネルの点検結果を確認したところ、対策箇所での変状は確認されなかったため、実施された対策工法は効果が発揮されていると考えられる。

全国のトンネル定期点検結果を用いて、材料劣化

(剥離) 対策を行ったトンネル(117トンネル)を抽出し、対策工法の分類を行った。代表的な対策工は、「シート設置」「あて板工」「剥落防止工」「ひび割れ注入」「パネル設置」の5工法であった。

表-1 変状況、対策内容等整理表

	変状況	対策内容
概要		
設計手法	<ul style="list-style-type: none"> インバート部が押し出されコンクリート舗装面下ひび割れが発生 インバートコンクリートが隆起しひび割れが発生 	<ul style="list-style-type: none"> 対策工法をインバート (I/O) によるもので、事前対策工として、ロックボルト
内容	設計手法としては、FEM解析による	
評価	設計手法としてFEM解析による地山組成モデルなし	外力による変状は見られない

また、同点検結果を用いて、NATM工法で施工された覆工の地山等級とひび割れの発生状況の関係を調査するため、地山等級(支保工パターン)が明確なトンネル(104トンネル)を抽出し、整理した。(図-1)

その調査した結果、特にD I断面およびC II断面、D II断面に多く発生していることが確認できた。

ひび割れ発生状況などの概ねの傾向は把握できたものの、地山等級の違いによるひび割れ発生の要因の抽出まではできなかった。

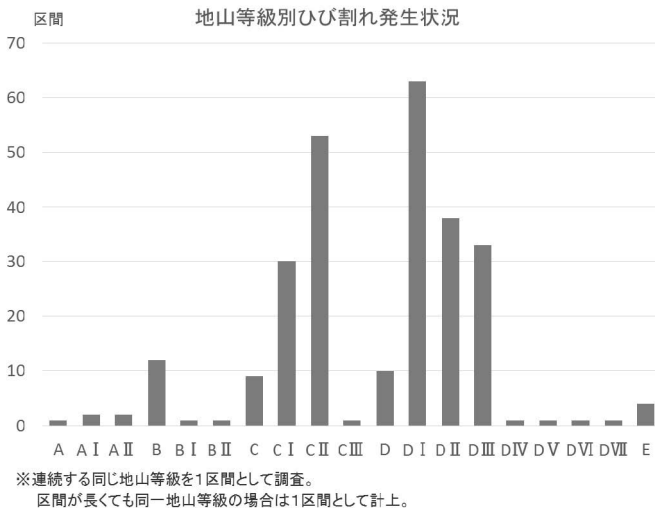


図-1 地山等級別ひび割れ発生状況図

4. 道路トンネル覆工の設計手法に関する調査・整理

新設の道路トンネル10トンネルの設計図書等から、標準パターンを適用していないトンネルの地山条件(地質縦断図等)および、支保構造の設計手法の整理を行った。

また、特殊な地山条件を有する5トンネルについて、

設計時の支保パターン・施工時の支保パターンおよび施工中のB計測のデータを収集・分析し、①FEM解析、②FRAME解析、③側壁の軸力に着目した吊り合い計算の3手法による解析を行った(表-2)。

①では、解析モデルの支保工(吹付けコンクリートと鋼製支保工の合成部材)に作用する軸力が、実測値であるB計測結果の軸力を再現できるように、解析モデルの地盤変形係数を調整し、トライアル計算を行い、解析モデルを作成した。

②では、①と同様にB計測結果を基本としたトライアル計算(緩み高さの変化)を実施し、解析モデルを作成した。但し、トンネルS.Lや、インバート部においては、B計測結果と乖離する部位もあり、今回は支保部材周辺の地山モデル(地盤反力)の再現が十分ではなかった。

③では、B計測結果から、軸力の吊り合い計算によって上部荷重を算出した。

③で求めた荷重は、①、②により求めたトンネル支保工に作用する荷重とほぼ近似するものであった。

この結果からB計測結果(軸力)を活用することで、トンネル完成後における外力(土圧)作用が比較的容易に推定できることがわかった。これにより覆工設計の標準化に向けた基礎資料となると思われる。

表-2 解析結果整理表

	発生トンネル No.0156断面	
	吹付コンクリート応力	鋼アーチ支保工応力
B計測結果		
解析手法	FEM解析	FRAME解析
検討概要		
トライアル概要	変形係数(β)を変化させることで、B計測結果より算出した軸力(吹付コンクリート)と鋼アーチ支保工の左右平均値に近似する値を示す地盤定数を求める	緩み高さを変化させることで、B計測結果より算出した軸力(吹付コンクリート)と鋼アーチ支保工の左右平均値に近似する値を示す上部荷重を想定する
		吹付コンクリート応力測定結果より算出した軸力(吹付コンクリート)と鋼アーチ支保工の左右平均値に近似する値を示す地盤定数を求め、上部荷重を計算

[今後の課題]

既設構造物の劣化や損傷の実態はまだ不明な点も多く残されている、被災・損傷事例、維持管理性を踏まえた常時、異常時(地震、豪雨)に対する要求性能の設定など更なる調査が必要である。

[成果の発表]

各種論文等で発表予定である。

[成果の活用]

土工構造物の管理水準、道路土工指針等の技術基準類へ反映させる。

盛土・切土・軟弱地盤対策工・自然斜面对策工の 要求性能及び基準体系に関する調査検討

Study on required performance and framework of guidelines for embankment, cut slope and countermeasures for weak ground and natural slope

(研究期間 平成 26 年度～28 年度)

道路構造物研究部 道路基盤研究室

Road Structures Department, Pavement and Earthworks Division

室長	藪 雅行
Head	Masayuki Yabu
研究官	榎本 忠夫
Researcher	Tadao Enomoto

The objective of this study is to establish the framework of the performance based design method for earth structures. In the first fiscal year, several factors affecting severe damage to earth structures were investigated by analyzing information from about 500 cases in which earthquake- or rain-induced failure occurred in the past.

〔研究目的及び経緯〕

本研究は、技術者が現場において的確な判断を行えるよう、道路土工構造物の被災事例の分析等を通じて土構造物の要求性能の検討と設計・施工法の体系化を行うとともに、これらの検討を通じて道路土工構造物に関する基準類において反映すべき内容を検討するものである。

地震や豪雨等による道路土工構造物の被災事例は依然として発生している。今後、上記基準類において規定している外力規模と実際の被災程度の関係を検証していく必要がある。また、性能設計とみなし規定の関係を整理するとともに、仕様設計による道路土工構造物の性能等を検証していく必要があると考えられる。

平成 26 年度は、16 種類の災害調査資料や論文を収集し、土工構造物の地震や豪雨等による被災事例計 490 件から得られる情報を整理し、大規模崩壊に及ぼす要因等を分析した。

〔研究内容及び研究成果〕

分析における整理項目は、崩壊形態、斜面や土工構造物の諸元（地形地質、構造形式、対策工の状況等）、道路構造、外力、土砂量、被災内容（通行止め日数、復旧の原形／強化・工法・費用）等とした。復旧工事費については記載されている文献が少ないため、工法と数量から一般的な単価を設定して算出した。収集整理した文献を表 1 に示す。同表に示した a～h の番号は、本文の図の凡例 a～h に対応している。

表 1 収集整理文献一覧表

a	資料No.1～4 H20～H23 直轄国道被害に関する資料
b	資料No.6 H21九州北部豪雨被害に関する資料
c	資料No.7 H22奄美大島豪雨被害に関する資料
d	資料No.11,13 H16新潟県中越地震被害に関する資料
e	資料No.10 H19能登半島地震被害に関する資料
f	資料No.5 H22岩手宮城内陸地震被害に関する資料
g	資料No.8,9,12 H23東北地方太平洋沖地震被害資料
h	資料No.14～16 学会誌論文、土木技術資料

表 2 斜面(自然・切土)の崩壊形態

⊙ A1	浸食・崩落(土砂の浸食)
△ A2	浸食・崩落(土砂の崩落)
⊙ A3	浸食・崩落(岩の崩落)
⊙ B1	表層崩落(土砂)
△ B2	表層崩落(強風化岩)
⊙ B3	表層崩落(流れ盤)
⊙ C	地すべり
⊙ G	落石(転石型)
△ H	落石(浮石型)
△ N	土石流

表 3 盛土・擁壁の崩壊形態

盛土(降雨)	B1	雨水の浸食(ガリ)
	B2	雨水の浸透による表層すべり
	B3	表面水による洗掘・崩落
	B4	地山と盛土の境界面の崩落
	B5	擁壁基礎の洗掘・背面盛土の流出
	C1	間隙水圧の上昇による崩落
盛土(地震)	D1	間隙水圧の上昇による大規模崩落
	D2	基礎地盤を含む崩落
	D3	基礎地盤の液化による大規模崩落
	D4	法面表層部・腹付け盛土の変形
	D5	ゆすり込みによる沈下

1. 大規模崩壊に及ぼす要因等の分析結果
1.1 崩壊形態について

要因分析は、降雨時被災と地震時被災、および斜面（自然・切土）と盛土・切土に分けて行った。また崩壊形態については、道路土工指針を参考に表2および表3のとおりとした。同表に示したA1等の記号と記号の脇に示したシンボルマークは、本文の図の凡例に対応している。

図1は、斜面（自然・切土）の崩壊形態区分と割合を示している。斜面（自然・切土）では、降雨時は表土の表層崩壊が多く、地震時は岩盤・流れ盤の表層崩壊や地すべりが多い。

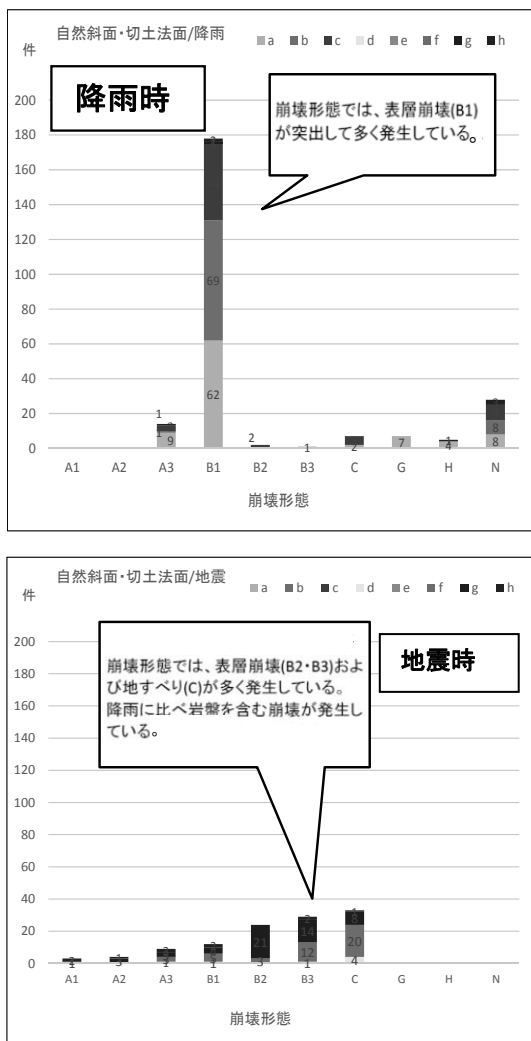


図1 斜面（自然・切土）の崩壊形態区分と割合（上：降雨時、下：地震時）

図2に示す盛土・擁壁の崩壊形態区分と割合より、盛土・擁壁では降雨時は表面水による洗掘・崩壊が多

く、地震時は間隙水圧上昇による崩壊が多い。

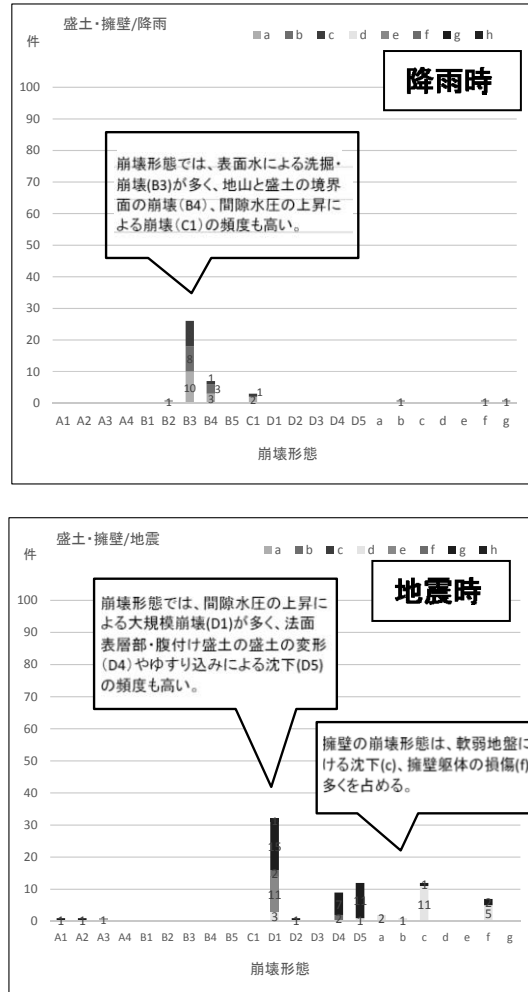


図2 盛土・擁壁の崩壊形態区分と割合（上：降雨時、下：地震時）

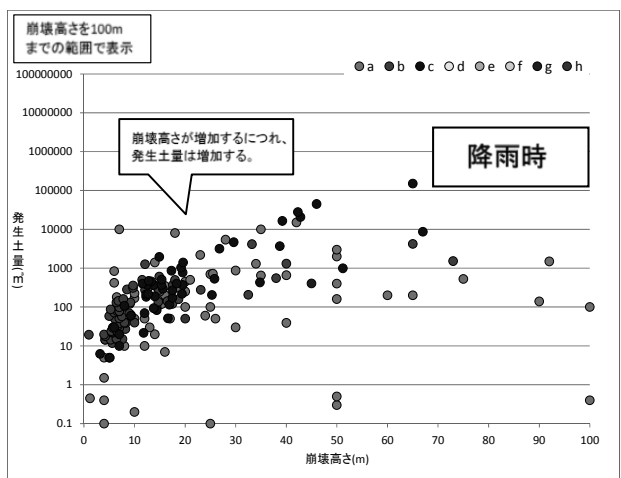


図3 発生土量と崩壊高さの関係（降雨による斜面（自然・切土）の被害）

1.2 発生程度（規模＝土量）と諸元・外力との関係について

ここでは、被害の程度を発生土量としてとらえ分析を実施する。

図3は、降雨による斜面(自然・切土)の被害について、発生土量と崩壊高さの関係をまとめたものである。発生土量と関連が深い諸元は高さで、斜面(自然・切土)では、降雨時・地震時とも、崩壊高さが高いほど発生土量は大きい傾向にあった。

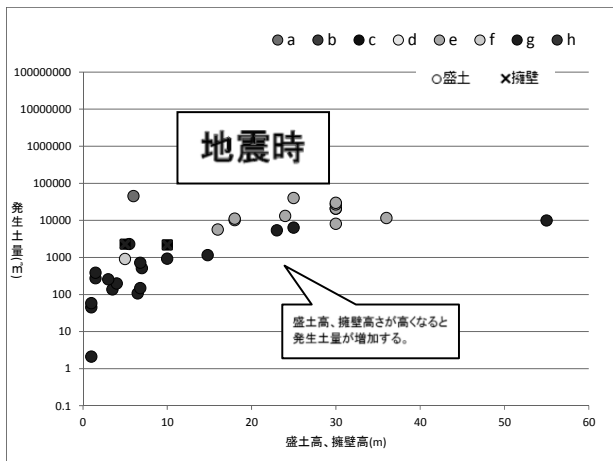


図4 発生土量と崩壊高さの関係(地震による盛土・擁壁の被害)

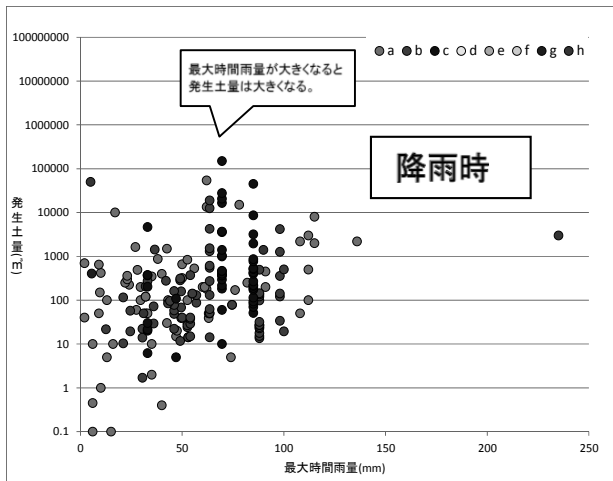


図5 発生土量と最大時間雨量の関係降雨による斜面(自然・切土)の被害

図4は、地震による盛土・擁壁の被害について、発生土量と崩壊高さの関係をまとめたものである。盛土・擁壁では、降雨時・地震時とも、盛土・擁壁高さが高いほど発生土量は大きい傾向にあった。

図5は、降雨による斜面(自然・切土)の被害について、発生土量と最大時間雨量の関係をまとめたものである。発生土量と雨量の関係では、連続雨量・時間雨量が大きい場合、発生土量が少ない事例はほとんどなく、雨量が少ない場合の発生土量は様々であった。

図6は、盛土・擁壁の被害について、発生土量と震度の関係をまとめたものである。斜面(自然・切土)では震度6弱以上で100m³以上、盛土・擁壁では震度6強以上で1,000m³以上の崩壊規模になる傾向にあった。先行連続雨量別(地震の1週間前までに降り終った連続雨量)で整理したが、震度ごとの発生土量と先行降雨量に明瞭な関連は認められなかった。

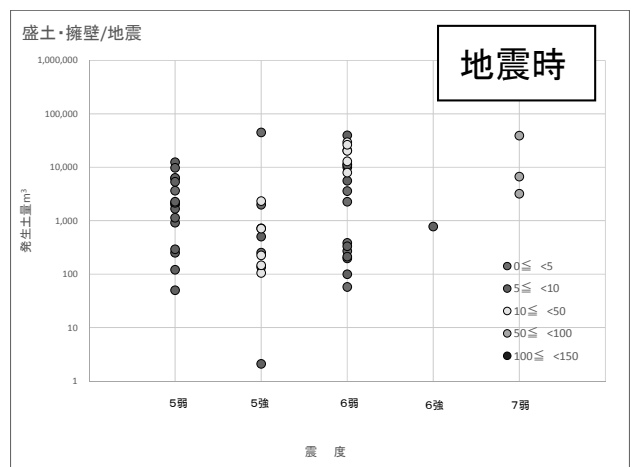


図6 発生土量と震度の関係(盛土・擁壁の被害、先行連続降雨量別に整理)

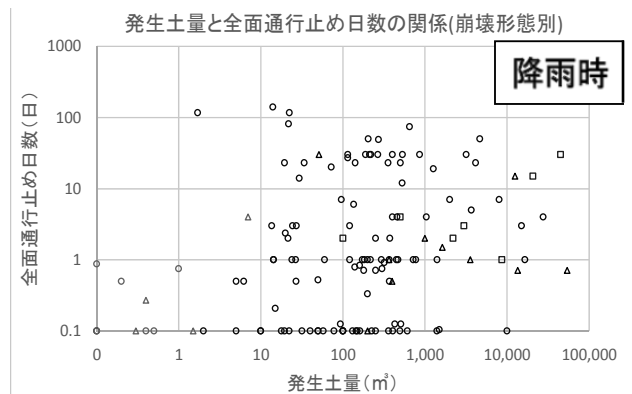


図7 全面通行止め日数と発生土量の関係(降雨による斜面(自然・切土)の被害)

1.3 被災影響の程度について

(1) 通行止め日数(全止)について

図7は、降雨による斜面(自然・切土)の被害について

て、全面通行止め日数と発生土量の関係をまとめたものである。発生土量と通行止め（全止）日数には関連性が見られなかった。表層崩壊（土砂）や盛土の一部では、全面通行止めが発生していない事例があった。

(2) 復旧費用について

図8、9に示したように、斜面（自然・切土）、盛土・擁壁とも、復旧費用は発生土量が多いほど大きい。盛土・擁壁では、地震時は降雨時より発生規模・復旧費用が大きい傾向があった。

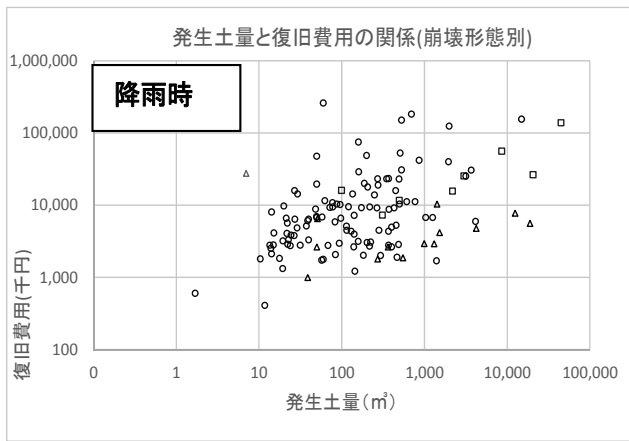


図8 復旧費用と発生土量の関係（降雨による斜面（自然・切土）の被害）

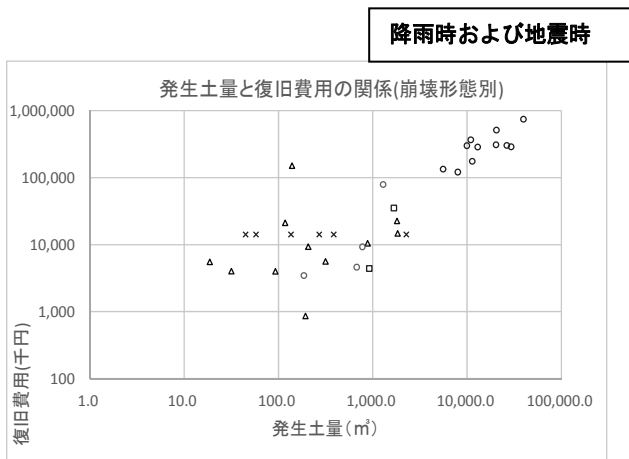


図9 復旧費用と発生土量の関係（降雨および地震による盛土・擁壁の被害）

2. まとめと今後の課題

16種類の災害調査資料や論文を収集し、道路土工構造物の地震や豪雨等による被災事例計490件から得られる情報を整理し、大規模崩壊に及ぼす要因等を分析した。

今回の分析結果から得られた、道路土工構造物の大規模崩壊が道路機能や復旧作業へ及ぼす影響に関する傾向を以下に概説する。

(1) 斜面（自然・切土）

- 降雨時の災害としては、表土の表層崩壊が多く、地震時は岩盤・流れ盤の表層崩壊や地すべりが多い。
- 降雨時・地震時とも、崩壊高さが高いほど発生土量は大きい。
- 連続雨量・時間雨量が大きい場合、発生土量が少ない事例はほとんどない。
- 震度6弱以上では100m³以上の崩壊規模になるケースが多い。
- 復旧費用は土量に応じて大きくなり、降雨時より地震時の方が大きい傾向にある。
- 通行止め時間の長短は、土量とはあまり関係がない傾向にあった。

(2) 盛土・擁壁

- 降雨時の災害としては、表面水による洗掘・崩壊が多く、地震時は間隙水圧上昇による崩壊が多い。
- 降雨時・地震時とも、盛土・擁壁高さが高いほど発生土量は大きい。
- 震度6強以上では1,000m³以上の崩壊規模になる傾向にある。
- 復旧費用は降雨時より地震時で高くなる可能性がある。
- 通行止め時間の長短は、土砂量とはあまり関係がない傾向にあった。

ここで得られた成果を基に今後更なる分析を実施するとともに、個々の事例を詳細に整理し、基準類において規定している外力規模と実際の被災程度の間関係を検証していく予定である。

[成果の活用]

道路土工指針類の改訂に反映する予定。

舗装の要求性能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 applicability and method of evaluation about concrete pavement

(研究期間 平成 25～27 年度)

道路構造物研究部 道路基盤研究室
Road Structures Department
Pavement and Earthworks Division

室長
Head
研究官
Researcher
研究官
Researcher

藪 雅行
Masayuki YABU
東 拓生
Takuo AZUMA
石原 佳樹
Yoshiki ISHIHARA

The objective of this study is to consider about concrete pavement applicability, inspection and diagnostic methods, appropriate repair methods, for the reduction of life cycle costs due to use of concrete pavement that has excellent durability. As a result, we have confirmed be maintained relatively good condition in the main highways or in the plains of road that housing is not dense. In contrast, we have confirmed a lot of damage in the road where there is a road or large buried object passing through the roads and cold region on the soft ground.

〔研究目的及び経緯〕

コンクリート舗装は、アスファルト舗装に比べて耐久性が高い利点があるものの、初期コストが高い、破損した場合の補修が困難、路面下の占用工事等の掘り返しが困難等の理由から、近年ではわが国の道路舗装に占める割合は5%程度にとどまっている。

このような状況を踏まえ、本研究は各種舗装の適材適所での活用を図るため、日本国内の既設コンクリート舗装の損傷状況を調査し、道路の各種条件との相関性について整理することでコンクリート舗装の適用性について検討するとともに、コンクリート舗装の点検・診断手法、補修工法の適用性について検討するものである。

〔研究内容〕

1-1. 既設コンクリート舗装の損傷状態、経年劣化状況の踏査、整理

直轄国道に施工されている既設のコンクリート舗装区間のうち、比較的長期に渡り供用されているものの中から、健全な状態を維持しているものも含めて広範な条件を有するように選定された箇所(20箇所、総延長約19km、コンクリート版数約2000枚)について、昨年度検討したコンクリート舗装の点検手法に基づき目視による調査を実施した。調査では損傷程度の評価、所定の記録様式への記録、写真撮影等を行うとともに、調査を行った区間の各種道路条件(コンクリート舗装の工法、舗装構成、大型車交通量、道路構造条件、線形等)の情報を収集・整

理した。

1-2. コンクリート舗装の適用条件の整理

目視調査結果をもとに、調査箇所の損傷状況を定量的に評価した。また評価結果と舗装種類、供用年数、大型車交通量、沿道状況、縦断線形等の各種条件との関係について回帰分析等を行った。さらに、国内外の文献資料も併せて整理し、コンクリート舗装の損傷が発生しやすい条件について検討を行った。

1-3. コンクリート舗装の補修工法に関する検討

現地踏査を行った路線について、代表的な補修工法を適用している10箇所を選定し、補修工法の内容、補修時期、経過状況等から補修工法の効果を把握するための検討を行った。また、海外での補修工法の選定方法について文献調査等により調査した。

1-4. コンクリート舗装の点検及び結果の整理方法に関する検討

昨年度検討した点検方法及び点検結果の記録方法に基づき実際に現地で点検を実施した結果から、点検箇所、点検項目、記載様式の問題点および改善点を検討した。

〔研究成果〕

1. コンクリート舗装の適用条件の整理

(1) 損傷状態の数値化と区間評価

現地目視調査では、版1枚ごとに段差、ひび割れ、角欠け、目地飛散、ポットホールなど各損傷を、損傷無し、損傷小(L)、損傷中(M)、損傷大(H)の4段階で評価し、これに各損傷が舗装の維持管理に及ぼす影響度を考慮するため、①交通安全への影響度、②沿道環境

への影響度、③構造物耐久性への影響度、④維持管理への緊急度の4項目の観点から表-1 のとおり重み付けし、損傷の評価点を版1枚ごと及び100m単位で集計した。この評価点と道路の各種条件の相関を分析した。

表-1 目視調査結果の損傷度の評価点の算出方法

損傷点検項目	損傷ウエート	損傷評価点				維持管理への重み付け(ウエート)				ウエートの乗算値	評価点の割合(%)
		9点	7点	5点	3点	交通安全への影響度	沿道環境への影響度	構造物耐久性への影響度	維持管理への緊急度		
目地材飛散	損傷なし	L	M	-	1	1	3	3	9	0.8	
わだち掘れ	損傷なし	L	M	H	1	1	1	1	1	0.1	
ポッシング	損傷なし	-	-	損傷あり	5	1	1	1	5	0.5	
ポットホールスケーリング	損傷なし	-	-	損傷あり(程度で判定)	5	3	3	3	135	12.5	
目地部角欠け	損傷なし	L	M	-	3	3	3	3	81	7.5	
ひび割れ	損傷なし	L	M	H	3	3	3	5	225	20.8	
段差	損傷なし	L	M	H	5	5	5	5	625	57.8	
									1081	100	

図-1 に調査箇所での供用年数と各区間の評価点の平均値、版1枚ごとにみた場合の各区間内の評価点の最大値、最小値の関係を示す。

これによると、供用年数と舗装の損傷との関係は明確ではなく、供用後長期間経過した区間でも、区間全体としては問題のない状態を維持している箇所がある一方、版毎の最小値を見ると、供用年数が比較的短い箇所でも損傷が進行している箇所が見られる。調査箇所のうち、評価点が低い箇所を個別に調査すると、埋設暗渠がある箇所、周囲が水田や盛土/切土境界であるなどの弱部が多いことがわかった。

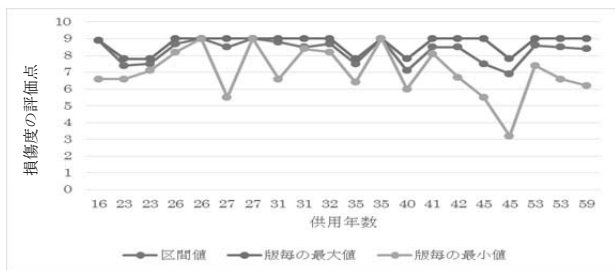


図-1 損傷度の評価点と経年数の関係

(2) コンクリート舗装の適用条件

道路の各種条件と前記の維持管理指数の関係の統計解析及び文献調査等から、コンクリート舗装が長期的にわたり健全な状態である条件をまとめると表-2 のとおりとなる。

D I D区間や市街地については、健全な状態ではあるものの、長期間供用されているものが少なく、地盤条件が悪い箇所については部分的に健全でない状態のものが見られた。

表-2 道路条件と供用年数・状態の関係

	道路条件	理由、影響など
長期間供用され、かつ健全な状態の箇所	主要幹線道路	設計段階で大型車交通量が多いことが考慮されており、耐久性が高い
	平地部	人家が連担しない区間、急勾配でない区間
上記以外の箇所	D I D区間、市街地	人家が連担する区間
	地盤条件が悪い箇所	盛土、軟弱地盤、地下水流入の影響等

2. コンクリート舗装の補修工法に関する検討

現地調査で確認された補修工法を表-3 に示す。現地では、プレキャストコンクリート版やアスファルト舗

表-3 現地で確認された補修工法

種類	現地でみられた補修工法	経年数
打ち換え	プレキャスト版打換	19
	プレキャスト版打換	9
	As 舗装打ち換え	5
オーバーレイ	As 舗装打ち換え	5
	排水性舗装オーバーレイ	5
	密粒度舗装オーバーレイ	37
	密粒度舗装オーバーレイ	18
維持補修	ゴム入りAs 舗装オーバーレイ	19
	局部打ち換え	7
	グレーピング	16

装への打ち換え、アスファルト舗装によるオーバーレイ、局部打ち替えやグレーピング等が確認された。

また海外での補修工法の選定方法に関する文献調査等の結果、打ち替えやオーバーレイ等を行う場合、海外ではバーステッチ工法も併用し荷重伝達を確保していることが確認された。この他、海外では目地材の飛散にともなう路盤への水の浸入を防ぐため、目地材が効果を発揮しなくなる前に注入などの補修を行っていることが確認された。

3. コンクリート舗装の点検方法に関する検討

昨年度検討したコンクリート舗装の点検方法を実際に現場で実施した結果、表-4 のとおり問題点と改善案が挙げられた。今後これらを改善し、現場への導入を図っていく予定である。

表-4 点検様式、項目の問題点と改善点

項目	問題点	改善案
点検箇所	コンクリート版を特定する方法	コンクリート版に識別表を設置
点検項目	ひび割れ部の段差項目がない	ひび割れ部の段差を追加
	路面損傷の項目が不足	すべり等の路面機能別に分類
点検記録	書類量が膨大となる	書類の簡素化、電子化
点検実務	記入しにくい、個人差が発生する	点検要領の整備、研修・訓練の実施
測定方法	損傷評価の判定に個人差が発生	特に段差の測定装置の開発・導入
測定方法	供用中の道路での測定が危険	

[成果の発表]

各種論文等で発表予定である。

[成果の活用]

本研究で得られた成果を踏まえ、さらに研究を進め、コンクリート舗装の適用性及び既設のコンクリート舗装の維持管理に関する技術資料としてとりまとめる予定である。

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 25～27 年度)

防災・メンテナンス基盤研究センター 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 主任研究官 大平 和明

Head, Yasuo MORITA Senior Researcher, Kazuaki OOHIRA

主任研究官 小塚 清 研究官 大野 真希

Senior Researcher, Kiyoshi KOZUKA Researcher, Masaki OONO

研究官 藤井都弥子 交流研究員 近藤 和正

Researcher, Tsuyako FUJII Guest Research Engineer, Kazumasa KONDO

交流研究員 天満 知生 交流研究員 山地 伸弥

Guest Research Engineer, Tomo-o TENMA Guest Research Engineer, Shinya YAMAJI

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 object of this study is to develop measures for generalization and smooth application of the bidding.

【研究目的及び経緯】

「公共工事の品質確保の促進に関する法律」の成立を契機に、国土交通省直轄工事においては、平成 17 年度より総合評価落札方式を拡大し、現在は、直轄工事のほぼ 100%で総合評価落札方式を適用している。また、調査・設計等業務においても、平成 19 年度より国土交通省発注業務で総合評価落札方式を導入し、プロポーザル方式と適切に役割分担しつつ、契約先選定へ企業・技術者の技術力を反映させる取組みを進めている。

国土技術政策総合研究所では、直轄発注の工事及び調査・設計等業務の入札・契約制度の課題改善のための検討を進めており、入札・契約に関するデータを地方整備局等から収集し、競争参加者・落札者等の動向や新たな施策の実施状況に関する調査・分析を行っている。

本稿では、平成 26 年 12 月に開催された「調査・設計等分野における品質確保に関する懇談会」において公表した平成 25 年度調査・設計業務に関する入札・契約の実施状況を報告する。(平成 25 年度年次報告書)

【調査・設計等業務の入札・契約実施状況】

平成 25 年度の年次報告書では、調達方式別の実施状況・業務成績評定点・発注規模、発注時期、低入札落札の状況など多角的な視点からの分析を行った。

①調達方式別実施状況

平成 25 年度における各調達方式の契約件数が全件数に占める割合をみると、総合評価落札方式が 49.4%を占め、その割合は年々拡大の傾向にある。一方、価格競争方式は 28.8%と縮小傾向にある。プロポーザル方式は 21.1%とここ数年安定的に推移しているものの、総合評価導入前と比較すると大きくシェアを減じている。(図-1)

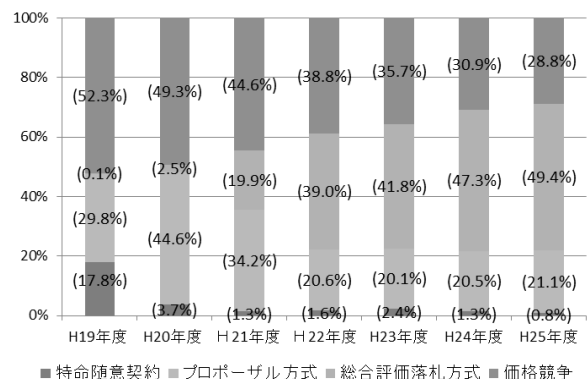


図-1 調達方式別発注件数割合の推移

②調達方式別業務成績評定点

平成 25 年度における調達方式別業務成績評定点の平均値は、76.3 点となった。年々成績は向上の傾向にある。

発注方式別にみると、プロポーザル方式が77.0点、総合評価落札方式が76.3点、価格競争方式が75.5点となった。技術力評価のウェイトが高い入札方式で、平均の評定点が高い傾向にあり、経年的にみても同様の状況となっている。(図-2)

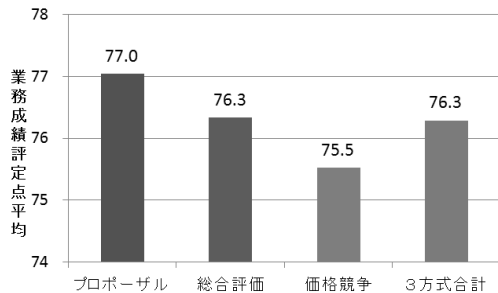


図-2 発注方式別業務成績評定点平均 (H25)

③調達方式別発注規模

平成25年度の平均発注規模(予定価格)は、総合評価で3,493万円、プロポーザルで2,459万円、価格競争で1,288万円となった。総合評価落札方式においては、4,000万円を超える業務が約27%を占め、各価格帯で偏りなく発注が行われた。一方で、価格競争では、1,000万円以下の小規模な業務発注が全体の約55%を占めたことが特筆される。(図-3)

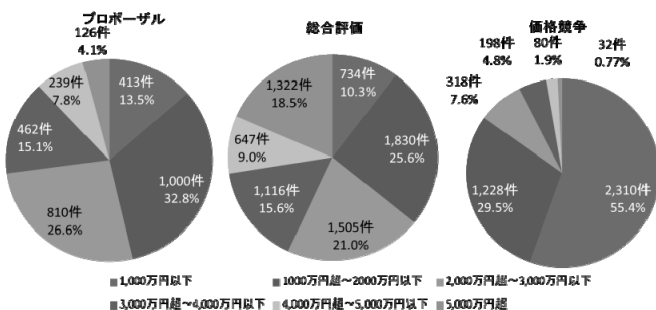


図-3 調達方式別発注規模 (平成25年度)

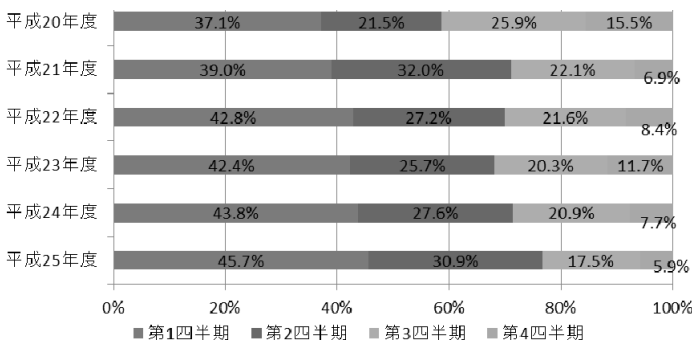


図-4 調査・設計等業務の四半期別契約件数割合の推移

④発注時期

上半期発注件数の割合は、平成20年度58.6%から平成

25年度の76.6%へと大幅に増加しており、早期発注の取組が一層進んでいることが分かる(図-4)。特に、規模の大きい業務(予定価格2000万円超)については、契約時期の前倒し傾向がより顕著に現れている(上半期82.0%)。

⑤低入札落札の発生状況

低入札落札の発生により受注者の労働環境悪化や成果品質の低下などの影響が懸念される。このため、従来から行っていた調査基準価格未滿落札者への品質確保対策に加え、平成22年度より総合評価方式業務の入札時に履行確実性評価(業務履行の確実性が低いと判断された入札者の技術評価点を、履行確実性の程度に応じ減じるもの)を導入するとともに、平成23年度以降は予定価格1千万円超業務まで対象を拡大するなどの重点的な対応を進めている。その結果、予定価格が1千万円超の総合評価落札方式業務の低入札落札発生率は、平成20年度の39.1%から平成25年度は0.2%へと大幅に低下した。(図-5)

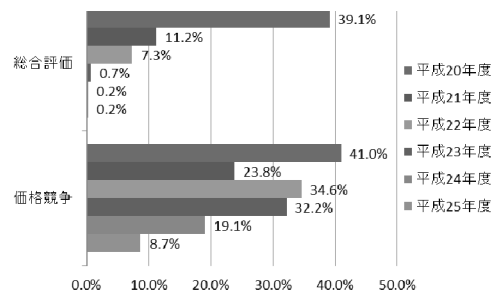


図-5 低入札落札発生率の推移 (予定価格1千万円超)

[今後の方針]

平成26年度から「業務内容に応じた適切な発注方式の選定」「総合評価方式における技術者評価を重視した選定」に関する試行を実施している。今後は、入札・契約データを用いた分析に加え、業務成績評定点などより成果品質への影響に関する分析を行い、試行結果に対する評価を行う予定である。

[成果の発表]

「調査・設計等分野における品質確保に関する懇談会」(平成26年度第1回:平成26年12月25日開催)において公表した。(http://www.nilim.go.jp/lab/peg/chousasekkei_hinkakukon.html)

[成果の活用]

分析成果は、上記懇談会の資料に反映された。また、本省における基準類の作成、各地方整備局等の入札・契約制度検討のための基礎資料として活用される。

インフラの老朽化対策や維持管理等を適切に進めるための調達システムの検討

Research on improvement of the procurement for the structural repairing and reinforcement works
(研究期間 平成 26～27 年度)

防災・メンテナンス
基盤研究センター
Research Center for Land
and Construction Management
建設マネジメント技術研究室
Construction Management Division

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
研究官
Researcher
交流研究員
Guest Research Engineer

森田 康夫
Yasuo MORITA
大平 和明
Kazuaki OHIRA
大野 真希
Masaki ONO
山地 伸弥
Shinya YAMAJI

This research was conducted to sort out the problems occurring during structural repairing and reinforcement design and works, to summarize the result of tender and the contracts related with these design and works, and to analyze those relations. Appropriate tender and contract methods were studied as the result of the research.

〔研究目的及び経緯〕

近年、社会資本ストックの急激な老朽化対策として、戦略的な維持管理・更新を推進するために、長寿命計画の策定や予備的な修繕及び計画的な更新等、必要となる施策の確実な実施に向けた取り組みが進められている。

このインフラの老朽化対策として、維持管理を適切に進めるために、構造物の補修・補強設計並びに工事に適した調達システムに関する検討が必要となった。

本研究では、対策が急がれている構造物(道路橋)を対象として、不調・不落の発生や工事発注後の大幅な設計変更、専門的技術や知識の不足による施工不良等、補修・補強設計並びに工事で顕著に見られる課題を整理し、各地方整備局、北海道開発局及び内閣府沖縄総合事務局で実施された、構造物(道路橋)の補修・補強設計並びに補修・補強工事の入札・契約の実施結果を集計整理した上で、その関連性について整理を行い、構造物の補修・補強設計並びに工事に適した入札・契約手法の検討を行った。

〔調達システムの検討〕

①構造物(道路橋)の補修・補強設計並びに工事に適した課題の整理

構造物(道路橋)の補修・補強設計並びに工事に適した課題について、「ア)不調・不落の発生状況」、「イ)

表-1 構造物(道路橋)の補修・補強設計並びに工事に適した課題

課題	施工者	設計者	発注者
ア) 不調・不落	①官積算と乖離 ・メインとなる構造物が少ない ・設計変更が認められにくい工種が多い	①官積算との乖離 ・協議事項が多く負担 ・資料整理が負担	①工事特性 ・歩道橋の補修工事で不調・不落が懸念 ・年度末は技術者不足
	②工事特性 ・工区が複数の管轄に点在 ・協議未了の場合(工期遅延の可能性大)	②業務特性 ・年度末発注(工期が短い) ・対象橋梁数が多い場合、打合せ頻度が多い	②配慮事項 ・発注ロットの大型化 ・鋼橋上部発注(参加者確保) ・地域要件(本支店所在確りはない)
	③交通誘導員不足	—	—
イ) 大幅な設計変更	①設計図書との乖離 ・任意仮設は変更とならない	—	①設計変更 ・必要な変更は工事完了まで対応
	②契約変更の状況 ・適切に変更されれば参加しやすい	—	②設計精度 ・現地確認を確実にすることで変更を防止
ウ) 専門技術・知識不足による設計施工不良	①高度な専門補修工事 ・主構造、防食・疲労亀裂対策 ・コンクリート床版、縦桁補強は難易度が高い ・長大橋、特殊橋梁(トラス、アーチ、吊橋)	①高度な専門補修設計 ・主構造、防食、疲労亀裂対策 ・伸縮装置の交換 ・地元企業が施工する場合、アドバイザーを配置の仕組みが必要	①発注時の工夫 ・工種が多岐にわたる ・歩道橋の塗装・舗装補修 ・不良・不適格者参入の懸念
設計と施工の連携を図るための仕組み・方法	①設計の受注者が工事段階で関与する仕組み	○留意事項 ・補修設計期間等で施工者の手待ち増加懸念	○留意事項 ・工期がタイト ・手持ち業務制限 ・足場の安全管理 ・設計者・施工者の責任分担の明確化
	②設計と工事を一括して発注する方法	○留意事項 ・施工者側で設計を出来る実務者の確保	○留意事項 ・頂跨線橋、斜張橋のケーブル交換等特殊
	③工事の受注者が設計段階から関与する仕組み	—	○留意事項 ・点検・診断で損傷状況が把握できる橋梁が対象 ・設計者・施工者の責任分担
	④設計者、施工者以外の第三者を活用する仕組み(PM手法の活用)	—	○留意事項 ・500m以上長大橋 ・補修方法が決まらないと予算要求できない ・施工者の設計照査が軽減されるメリット大
	—	—	○留意事項 ・公益法人活用 ・全てPMで対応困難

契約後の大幅な設計変更の状況」、「ウ) 専門的技術や知識の不足による設計並びに施工不良の状況」、「エ)

設計と施工の連携を図るための仕組み・方法」の4項目を基本として整理及び聞き取り調査を行った結果の総括を表-1に整理した。

「ア）不調・不落」に関する課題では、設計者の意見として、工期が短い場合や対象橋梁数が多い業務の場合に入札参加を見送る意見があり、また施工者では、工区が複数の管轄に点在している場合や工期遅延の可能性がある協議未了の工事の場合に参加しない意見があった。

発注者としては、競争参加者を増やすために、地域要件を設定しないことや、工種を維持修繕から鋼橋上部に変更するなどの対策を図っている。

「イ）大幅な設計変更」に関する課題では、施工者の意見として、任意仮設が原則設計変更の対象とならないことから大きな課題として捉えてはいない。発注者は、設計者・施工者・発注者の3者で現場条件の確認を行うことにより、適切な設計変更を行う対策を図っている。

「ウ）専門技術・知識不足による設計施工の不良」に関する課題では、設計者より「地元企業が施工する場合にアドバイザーを配置する仕組みが必要である」との意見があった。

表-2 補修・補強設計並びに工事における課題の傾向

		補修・補強設計	補修・補強工事	
全般	工事種別	-	■ 補修内容との関係では、「縦桁補強」、「鋼桁補修」、「落橋防止システム」に関する補修が含まれる工事で、専門工種（鋼橋上部）の選択が比較的多い傾向にある。	
	競争参加資格（参加要件）	■ 「コンクリート診断士」、「土木鋼構造診断士」、「道路管理支援士」等の補修・補強事業に関する民間資格を認めている事例もある。	■ 「コンクリート診断士」、「土木鋼構造診断士」、「道路管理支援士」等の補修・補強事業に関する民間資格を認めている事例は無い。	
	企業・技術者の実績	(特筆事項なし)	■ 「構造・形状」と「制約条件」の条件を考慮している工事は多いが、「規模」と「工法」の条件と考慮している工事は少ない。	
	総合評価（加点要件）	■ 技術提案のテーマとして、「詳細調査」や「施工計画」に関する留意点を設定した事例もある。	■ 技術提案のテーマとして、当該発注工事に含まれる補修内容（例：縦桁補強、支承取替）に関する留意点を求めている。	
課題の状況	工事種別	(特筆事項なし)	■ 「鋼橋上部」で発注した工事であっても、「一般土木」や「維持修繕」で発注した工事と比べて競争参加者数は少なくない。	
	不調・不落	契約時期	■ 「第1四半期」や「第2四半期」の年度当初に契約した業務は、競争参加者数が多い傾向にある。	■ 「第1四半期」や「第4四半期」に契約した工事は、競争参加者数が多い傾向にある。
		規模	■ 規模が大きな業務は、競争参加者数が多い傾向にある。	■ 規模が大きな工事は、競争参加者数が多い傾向にある。
		補修内容	-	■ 「鏡面工（舗装、橋面防水等）」、「縦桁補強」、「柵座拡張」、「検査路工」等を含む工事は競争参加者数が少ない傾向にある。
	契約タイプ	■ 技術提案を求めるタイプを適用した業務は、競争参加者数少ない傾向にある。	(特筆事項なし)	
	大幅な設計変更	規模	- (分析対象外)	■ 規模が大きな工事は、変更契約率が高い傾向にある。
		補修内容	-	■ 「床板補修（ひび割れ樹脂注入、剥落防止）」、「床板補強（炭素繊維補強）」、「鋼桁補修（鋼桁補修、鋼板当板）」、「塗替塗装」、「支承取替」等を含む工事は、変更契約率が高い傾向にある。
	専門技術知識不足による設計施工不良	工事種別	-	■ 「鋼橋上部」で発注した工事は、工事成績が高い傾向にある。
規模		■ 規模の大きな業務は、業務成績が高い傾向にある。	■ 規模の大きな工事は、工事成績が高い傾向にある。	
契約タイプ		■ プロポーザル方式を適用した業務は、業務成績が高い傾向にある。	(特筆事項なし)	

② 構造物（道路橋）の補修・補強設計並びに事の入札・契約の実施結果の集計・整理

平成25年度に地方整備局等が契約した構造物（道路橋）の補修・補強設計並びに工事の入札・契約の集計結果から、課題の傾向が確認された内容について表-2に整理した。

上記の集計・整理にあたっては、「ア）不調・不落の発生状況」、「イ）契約後の大幅な設計変更の状況」、「ウ）専門的技術や知識の不足による設計並びに施工不良の状況」に関する課題の状況と発注条件の関係性を集計・整理した。

「ア）不調・不落の発生状況」では、業務・工事共に、規模が大きい・第1四半期の契約のものほど競争参加者数が多い傾向にある。また工種を鋼橋上部にすることによる競争参加者数の変化は見られない。

「イ）契約後の大幅な設計変更の状況」では、規模の大きい工事や「床板補修・補強」、「鋼桁補修」等を含む工事の場合に、変更契約率が高い傾向がみられた。

「ウ）専門的技術や知識の不足による設計並びに施工不良の状況」では、規模の大きな業務や工事ほど、成績が高い傾向があり、「鋼橋上部」で発注した工事は、

工事成績が高い傾向となっている。

【今後の方針】

前述の①、②で整理した課題やその方向性を踏まえ、「設計」、「施工」の各プロセス間の連携を図るための仕組み・方法について、以下の項目を基本として、構造物の補修・補強設計、工事に適した入札・契約手法整理を次年度に行う予定である。

- ・設計の受託者が工事段階で関与する仕組み
- ・設計と工事を一括して発注する方法
- ・工事の受託者が設計段階から関与する仕組み
- ・設計や、施工者以外の第三者を活用する仕組み（PM手法の活用）

また、構造物の補修・補強設計、工事に適した発注図書の具体的な記載方法についても併せて実施する。

【成果の活用】

検討結果は、地方整備局等や地方公共団体の入札・契約制度検討のために基礎資料として活用される。

道路橋に作用する津波外力の検討

Study on tsunami wave forces acting on highway bridges

(研究期間 平成 24～26 年度)

防災・メンテナンス基盤研究センター国土防災研究室
Research Center for Land and Construction Management
Disaster Prevention Division

室長 松本 幸司
Head Koji MATSUMOTO
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 from the Tohoku tsunami for 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の対策検討が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、対策検討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。

26年度は、東北地方太平洋沖地震の津波（以下、東北津波とよぶ）で影響を受けた道路橋を対象に、詳細な地形データを用いた3次元津波解析を実施し、道路橋に作用した津波の推定結果を検証した上で、上部構造の流出に影響の大きい津波の特性を検討した。

〔研究内容〕

1. 対象道路橋位置の津波特性の算出

東北津波で上部構造が浸水した橋梁のうち、被災後の支承の状況等から流出過程が推定可能なもの、支承部の抵抗力が算出できるもの等の条件を考慮して、国道45号歌津大橋、小泉大橋、沼田跨線橋の3橋を選定した。歌津大橋には流出した径間と流出していない径間があり、上部構造の断面形状も変化するため、それらは別々に検討する。

波源から対象橋梁周辺までの津波特性を算出するため、非線形長波理論に基づく平面2次元の差分法を用いた津波伝播解析を実施した。

道路橋に作用した津波の特性および津波作用力を高精度で推定するために、道路橋とその周辺の地形の3

次元モデルを作成し、平面2次元の津波伝播解析で得られた津波特性をその境界から入射する3次元津波解析を実施した。

2. 被災状況との整合性の確認と津波特性の検討

上記の3次元津波解析では、モデル化した上部構造の各点に作用する時々刻々の圧力も算出されている。その圧力による津波荷重をモデル化した上部構造断面に載荷する解析を実施し、各支承に作用する力の時刻歴を算出した。抵抗力は上部構造を支持する支承の破断耐力を合計して計算した。

得られた津波作用力と抵抗力の比較により津波の推定結果を検証した上で、道路橋に作用した津波の特性を検討した。

〔研究成果〕

1. 対象道路橋位置の津波特性の算出

波源から対象橋梁周辺までの津波特性を算出するため、非線形長波理論に基づく平面2次元の差分法を用いた津波伝播解析を実施した。津波波源モデルは40枚の小断層からなる藤井・佐竹モデルのVer.4.6を基本とし、GPS波浪計による沖合での津波の観測結果に対する再現精度を向上させるため、各小断層のすべり量を0～2倍の範囲で修正する調整を行った。併せて、各橋梁位置における津波浸水深や浸水範囲、流速を概ね再現できていることを確認した。

次に、道路橋に作用した津波の特性および津波作用力を高精度で推定するために、道路橋とその周辺の地形の3次元モデルを作成し、平面2次元の津波伝播解析で得られた津波特性をその境界から入射する3次元津波解析を実施した。

3次元津波解析には、オープンソースの数値解析コ

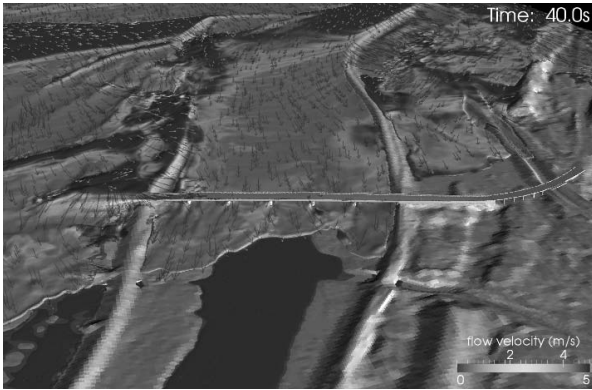


図-1 小泉大橋への津波来襲状況の解析結果

ード OpenFOAM を用いた。3次元津波解析には長い計算時間を要するため、津波が対象道路橋に到達する前から対象道路橋位置で波高が最大となるまでの時間帯に限り解析を実施した。小泉大橋の場合は地震発生の39分後からの3分40秒間を対象として解析を実施した。3次元津波解析の開始時から40秒後のスナップショットを図-1に示す。

2. 被災状況との整合性の確認と津波特性の検討

小泉大橋の海側の支承 G4 への作用力の時刻歴と抵抗力を比較したものを図-2に示す。作用力が抵抗力を超えた時点を矢印で示してある。解析結果から、支承の損傷過程は、まず海側の2つの支承が鉛直上向きの作用力を受けて破断した後、すぐに水平方向の作用力によって陸側の2つの支承も破断したと推定された。

他の2橋についても小泉大橋と同様の検討を行い、実被災状況と解析結果を比較したものが表-1である。ここで対象とした3橋については、上部構造が流出するか否かを正しく評価できており、算出した津波特性は実際に来襲した津波を一定の精度で再現できているものと考えられる。

水位の変化をみると、小泉大橋と沼田跨線橋では水位の上昇速度が最大6m/分程度と大きく、歌津大橋では最大3m/分程度と小さいのが特徴である。歌津大橋の区間による違いは小さい。

流速に着目すると、最大値は小泉大橋、沼田跨線橋、歌津大橋の流出した区間②③の順に大きく、流出しなかった区間①④では比較的小さい。

以上より、今回の検討では、算出した津波の特性等から上部構造が流出するか否かを評価することは可能であり、それには流速を精度良く把握する必要があるという結果が得られた。今後、上部構造の流出対策を検討する場合、津波の流速の設定に注意が必要である。

【成果の発表】

上部構造と橋脚が流出した道路橋の地震・津波被害

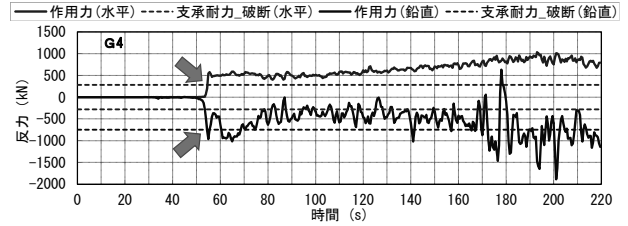


図-2 小泉大橋の支承 G4（海側）への作用力の時刻歴と抵抗力の比較（水平は陸側、鉛直は下向きが正）

表-1 対象道路橋の実被災状況と解析結果の比較

橋梁名	径間数	実被災状況	解析結果
歌津大橋			
区間①	2	流出せず	支承は破断しない
区間②	5	流出（水平）	海側の支承から破断
区間③	3	流出（回転）	海側の支承から破断
区間④	2	流出せず	支承は破断しない
小泉大橋	6	流出（回転）	海側の支承から破断
沼田跨線橋	3	流出（浮上）	海側の支承から破断

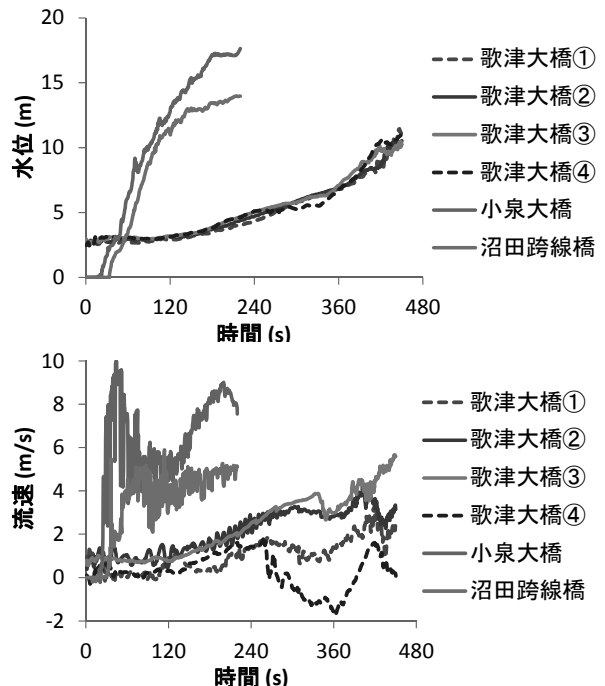


図-3 対象道路橋に作用した津波の水位と流速（橋軸直交方向、陸側が正）の再現結果

再現解析，土木学会論文集 A1，Vol. 69，No. 4，I_932-I_941，2013.

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)

防災・メンテナンス基盤研究センター国土防災研究室
Research Center for Land and Construction Management
Disaster Prevention Division

室長	松本 幸司
Head	Koji MATSUMOTO
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。

26年度は、国外で得られた長大活断層の活動による地震の強震記録を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するとともに、今までに得られた記録を用いて水平力分散構造の高架橋の地震応答解析を行い、入力損失効果を分析した。

〔研究内容〕

1. 長大活断層地震の強震記録の分析

過年度収集したデータに加え、2008年5月12日に発生した中国四川地震(M7.9)等の強震記録を収集・整理し、現行道路橋示方書のレベル2地震動と比較した。

2. 地震動の入力損失効果の分析

過年度作成した国道45号曾波神高架橋の構造と周辺地盤のFEM解析モデルを用いて、入力損失(波長が短い短周期の地震動による構造物への作用が互いに打ち消し合う現象)に関する既存モデルとの比較分析を実施した。

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。

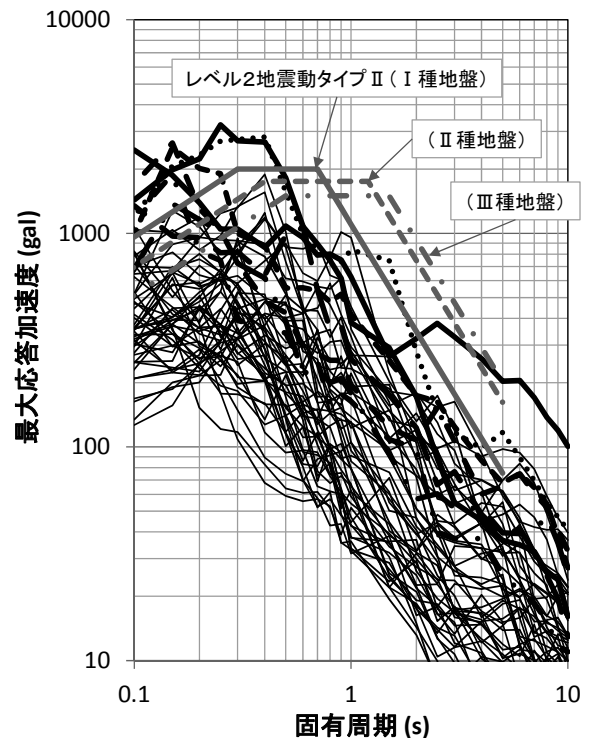


図-1 2008年四川地震の強震記録と道路橋示方書のレベル2地震動タイプIIの比較

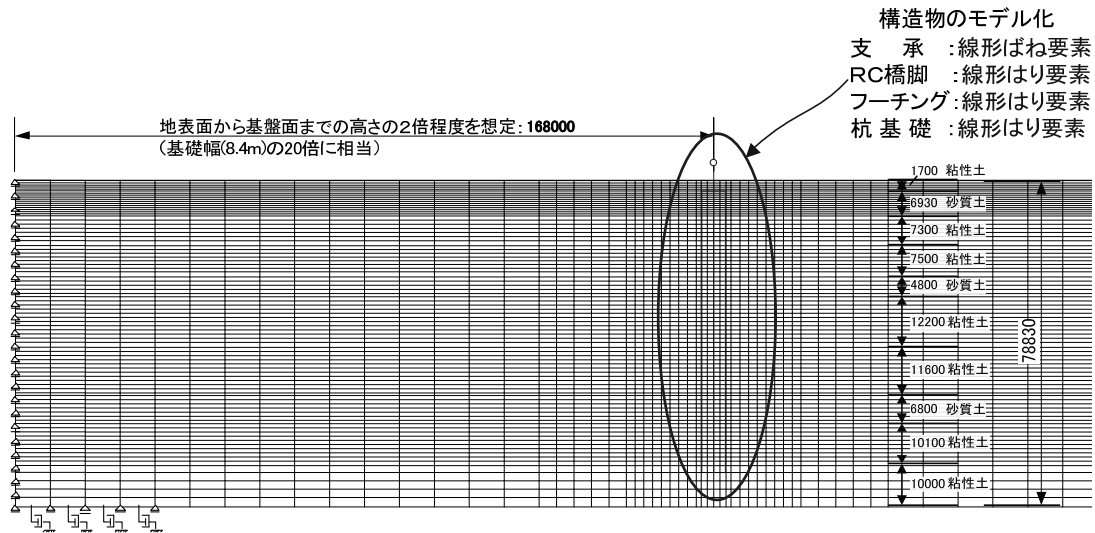


図-2 入力損失の検討に用いた FEM モデル（右側一部省略、単位 mm）

【研究成果】

1. 長大活断層地震の強震記録の分析

国外で発生した兵庫県南部地震よりも規模の大きい長大活断層地震 10 地震を対象に、最大加速度が 100gal 以上の計 300 記録の強震記録を収集した。

図-1 は代表的な長大活断層地震である 2008 年中国四川地震 (M7.9) で得られた 56 記録の加速度応答スペクトル (減衰定数 0.05) と現行道路橋示方書のレベル 2 地震動タイプ II を比較したものである。強震記録が得られた観測点の地盤条件に関する情報がなく、地盤種別ごとの正確な比較はできないが、周期 0.5 秒以下の短周期成分において 6 記録がレベル 2 地震動タイプ II よりも大きくなっている。

このような短周期でレベル 2 地震動タイプ II を超える地震動は、国内の M7 級の地震でも観測されていることから、次の入力損失効果も踏まえ、設計地震動の改定必要性について検討する必要がある。

2. 地震動の入力損失効果の分析

入力損失効果の分析のため、国道 45 号曾波神高架橋では、杭基礎のフーチング上とその周辺の地表面で強震観測を実施している。過年度には中小地震の際に得られた振幅の小さい記録を再現できる FEM 解析モデル (図-2) を作成した。フーチングは剛部材、モデルの底面は水平方向のみ粘性境界としている。

杭基礎の入力損失効果に関しては、弾性床上の梁理論から得られる杭の特性値 β (単位: 1/m) を用いた次のモデルが提案されている。

$$U/U_g = 1 / \{1 + (\omega/\beta/V_s)^4\} \quad (1)$$

ここで、 U は基礎の揺れ、 U_g は地表面の揺れを表し、その比を有効入力係数と呼ぶ。また、 ω は角振動数 (rad/s)、 V_s は周辺地盤の等価せん断波速度 (m/s) である。

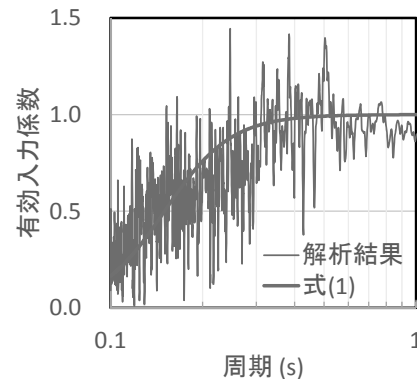


図-3 FEM 解析結果と式(1)の比較

有効入力係数は、入射した地震波のうち実際に基礎に作用した部分の比率を表したものである。

図-2 の解析モデル底面にレベル 2 地震動相当の強い地震動を入力し、表層地盤の塑性化の影響を考慮した地震応答解析を実施した。その結果から算出した有効入力係数を式(1)と比較したものが図-3 である。解析結果には周期により細かい変動があるものの、おおむね式(1)と同様の傾向を示し、周期が短いほど実際に基礎に作用する地震動の比率は小さくなっている。なお、入力地震動の振幅を小さくしても、解析結果から得られる有効入力係数には大きな変化は見られなかった。

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た。

【成果の活用】

次期道路橋示方書の改定に反映

CIM の導入に向けた 3 次元データの利活用に関する調査

Research on Utilization of Three Dimensional Data for Introduction of CIM

(研究期間 平成 26～28 年度)

防災・メンテナンス基盤研究センター
メンテナンス情報基盤研究室
Research Center
For Land and Construction Management
Maintenance Information Technology Div.

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
研究官
Researcher
交流研究員
Guest Research Engineer

重高 浩一
Koichi SHIGETAKA
青山 憲明
Noriaki AOYAMA
谷口 寿俊
Hisatoshi TANIGUCHI
藤田 玲
Rei FUJITA

The Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism has been working on Construction Information Modeling (CIM) application, with the aim to improve our construction production system and the productivity using ICT technology. This research examines what kind of functions 3D models should have, how to create them, and how to add different types of information, for using in the maintenance phase of civil engineering structures.

〔研究目的及び経緯〕

国土交通省では、インフラの安全安心と建設生産性の向上を図るために、3次元データを活用した建設生産システムを構築し、公共調達の品質向上、コスト縮減、維持管理の高度化を達成することを目標として、Construction Information Modeling(以下、CIM という。)の導入普及に取り組んでいる。

CIM は、コンピュータ上に作成した3次元の形状情報(以下、3次元モデルという。)に加え、材料・部材の規格、出来形・品質、点検結果等といった特徴や状態を示す情報(以下、属性情報という。)を併せ持つ構造物データモデル(以下、CIM モデルという。)を利用することで、建設生産プロセス全体の効率化、高度化を図るものである。調査・設計の段階から CIM モデルを作成し、施工・維持管理へと流通・発展させる中で、各フェーズにおける計画検討、合意形成や意思決定支援等に利用することが想定されている。

CIM の効果を十分に発揮するためには、属性情報の円滑な蓄積と流通、および再利用が可能となる標準的な CIM モデルの整備が必要不可欠である。また、社会資本の老朽化に伴い、今後確実な増加が見込まれる維持管理業務での効果的な利活用方策が重要となる。しかし、特定の用途に即した3次元モデルの検討や整備は進められているものの、標準的な CIM モデルの整備には至っておらず、CIM の実践に必要なソフトウェアも不足しているのが現状である。また、3次元モデルの利活用については、設計・施工段階での利活用が進

み、その有効性も確認されつつあるが、維持管理においては未だ十分な検証が行われていない。

そこで、本研究では、CIM の導入普及の推進を目的として、調査・設計から施工、維持管理の各フェーズで必要な属性情報、および3次元モデルの詳細度を調査し、CIM モデルの標準的な作成仕様(案)を取りまとめるとともに、維持管理における CIM モデルの効果的な利活用方策について検討を実施するものである。以下に本研究の内容を示す。

〔研究内容〕

1. 設計及び工事段階での CIM モデル標準化

橋梁を対象に、維持管理での利活用を念頭において、設計および施工段階における3次元モデルの詳細度を整理するとともに、各段階で3次元モデルに付与すべき属性情報を整理し、「CIM モデル作成仕様(案)橋梁編」として取りまとめた。さらに、維持管理での利用を想定した場合における作成仕様の妥当性を北首都国道事務所へのヒアリングで確認した。

また、道路の土工区間についても、設計、施工、維持管理の各フェーズにおける3次元モデルの具体的な利活用方策とその効果について調査を行い、土工区間の3次元モデルの詳細度、および属性情報について整理し、CIM モデルのプロトタイプを作成した。

2. 維持管理における CIM モデルの活用

維持管理に必要な資料・情報等を属性情報として橋梁の3次元モデルに集約・統合した CIM モデル(試行

版)を構築し、維持管理情報の統合的な管理と運用における CIM モデルの有効性や課題を確認するための現場試行を実施した。

3. 既設橋梁のパノラマウォークスルー

宇都宮国道事務所の橋梁の維持管理担当者からヒアリング等により、3次元モデルへの現場ニーズを確認し、維持管理での具体的な活用方法を整理した。この整理結果を踏まえ、コストを掛けずに既設橋梁を3次元モデル化することを目的として、3次元モデルを簡易に生成するための国内外の技術を調査した。この調査結果に基づき、写真だけで橋梁の空間的な構造を簡易に表現できる仕組みとして橋梁のパノラマウォークスルーのプロトタイプを構築した。また、その作成方法や利用方法をマニュアルとして整理した。

[研究成果]

主な研究成果の概要を以下に示す。

1. CIMモデル作成仕様(案) 橋梁編

本研究で作成した CIM モデル作成仕様(案)は、維持管理での活用を実現するために、橋梁を対象として、具体的な3次元モデルの詳細度と属性情報をまとめたものである(図-1 参照)。また、本成果を国総研ホームページへ公開し、幅広く活用を促している。

今後は、橋梁以外の土木構造物を対象に CIM モデル作成仕様の拡充を図る。

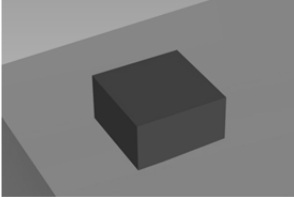
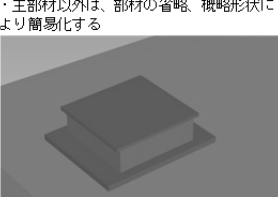
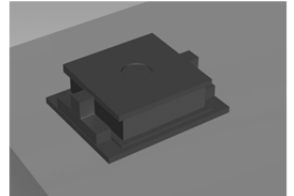
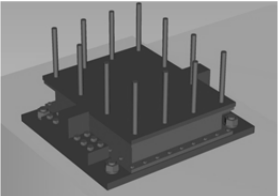
Level 1	Level 2
<ul style="list-style-type: none"> ・支承の概略形状を表現した直方体モデル ・寸法形状は不正確 	<ul style="list-style-type: none"> ・主部材(上咨・下咨・ゴム支承)の外形状を正確にモデル化 ・主部材以外は、部材の省略、概略形状により簡易化する 
Level 3	Level 4
<ul style="list-style-type: none"> ・主要部材以外の一部部材(サイドブロックなど)を詳細にモデル化 	<ul style="list-style-type: none"> ・ボルトなど細部部材を含めて、全ての部材を詳細にモデル化 

図-1 3次元モデルの詳細度(支承部)

2. 橋梁の維持管理情報を統合管理できる CIM モデル

本研究で構築した CIM モデルは、図面、橋梁台帳、点検、補修記録を属性情報として3次元モデルに集約・統合可能なモデルである。本研究では、維持管理

で利用できる CIM モデルを提案するとともに CIM モデルへの情報の追加、更新を行うツールを作成し、ツールの利用マニュアルを整備した。また、現場試行を通じて、情報共有や一元管理に対する有効性が確認できた。

3. 既設橋梁のパノラマウォークスルー

本研究では、維持管理における3次元モデルの活用としてパノラマウォークスルーを用いる手法を提案した(図-2 参照)。現場担当者による試行の結果、点検業者への業務説明等、関係者間での情報共有において、パノラマウォークスルーの有効性が確認できた。

一方で、3次元ソフトウェアを操作できる人材の育成や、ソフトウェアの低コスト化等が今後の課題である。

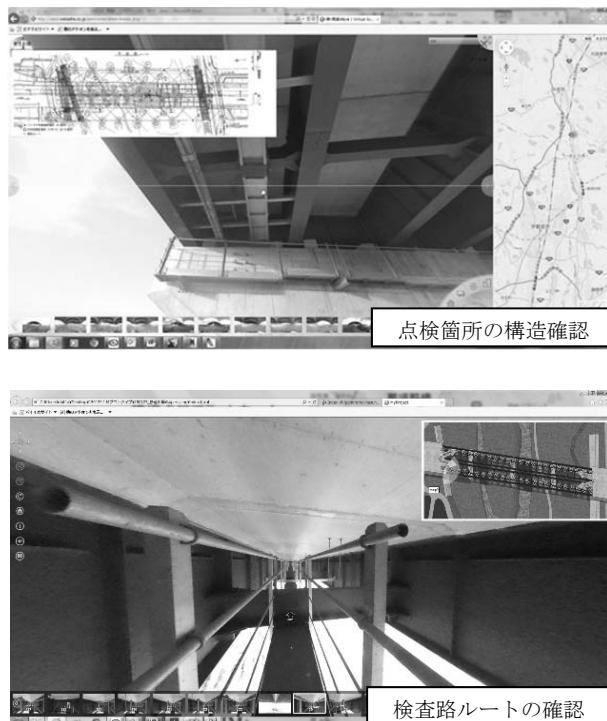


図-2 既設橋梁のパノラマウォークスルー

[成果の活用]

「設計、および施工段階における CIM モデル作成仕様(案) 橋梁編」は、産学官 CIM の検討において平成28年度迄に策定を予定している「CIMモデル作成ガイドライン」検討のための基礎資料となる。CIMモデルによる維持管理情報の統合管理については、現場試行によってその効果や運用性を確認できたことから、今後は、維持管理情報を統合管理するために CIM モデルが具備すべき機能や仕様を整理する。既設橋梁の簡易な3次元化については、パノラマウォークスルー等の新技術の調査を進めるとともに、現場試行等を通じて適用性や運用性について更なる検証を実施していく。

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)

防災・メンテナンス基盤研究センター
Research Center for Land and
Construction Management
メンテナンス情報基盤研究室
Maintenance Information
Technology Division

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
研究官
Researcher

重高 浩一
Koichi SHIGETAKA
近藤 弘嗣
Koji KONDO
長山 真一
Shinichi NAGAYAMA

The Author aims at expanding the dimensional control of completed work using Total Station, which is already applied to earthwork and paving work, to include peripheral works. In this study, the author develops the measurement method applicable to dimensional control of retaining wall work, and varifies the efficiency and the measuring accuracy of this method.

〔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、対象工種や利用場が限定されており、ポテンシャルを十分生かせていない。

国土技術政策総合研究所では、3次元測量機器を用いた出来形管理の適用工種・適用技術の拡大について研究している。本研究では、情報化施工技術の1つであるトータルステーション(TS)を用いた出来形管理の適用工種の拡大として擁壁工への導入に向けた検討を行った。

〔研究内容・研究成果〕

1. 計測手法の立案

擁壁工の現場打擁壁工を対象にTSを用いた出来形管理手法を考案した。出来形管理項目は、天端及び底盤の張出し幅、底盤の厚さ、壁面の高さ、延長、及び基準高である。図1のとおりTSで座標を計測することとする。

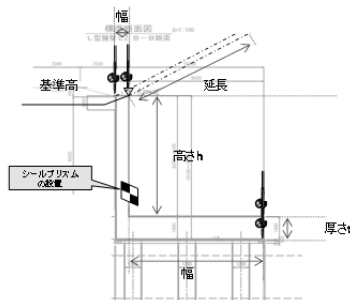


図1 擁壁工の施工管理基準とTS計測箇所

なお、プリズムを設置しにくい壁面下端は、シールプリズムを設置することとした。

施工管理基準の「高さ」等の管理項目については、表2のとおり、取得した3次元座標からユークリッド距離を算出する。

表1 施工管理基準における管理項目算出方法

測定項目	算出方法
基準高	対象となる点の標高値
幅	対象となる2端点の水平距離
高さ	対象となる2端点の鉛直距離
厚さ	対象となる2端点の鉛直距離
延長	管理断面上の天端肩部を結んだ斜距離の総和

2. 省力化効果の検証

擁壁工のTS出来形管理について現場試行を実施し、内業から出来形計測に要する作業時間・人員について、全てを従来手法で行った場合と全てをTSを用いた出来形管理を適用した場合とを比較した。比較対象とした作業の流れとしては、①従来手法では「丁張計算」、TS手法では「基本設計データ作成」にあたる「内業」、②機械設置にあたる「現地準備」、③従来手法ではレベルやテープ、TS手法では測定点の座標取得にあたる「計測」、④従来手法では野帳からの転記を含む入力・帳票出力作業、TS手法ではプログラムによる帳票打出しにあたる「帳票作成」の4つの作業内容である。このうち①内業の従来手法の作業時間は、試行工事の施工者へのヒアリングを実施し、それ以外は実測した。

結果としては、従来手法とTS手法とを比較すると、従来手法が216分、TS手法が188分と1割程度の作業時間の削減効果が確認できた。

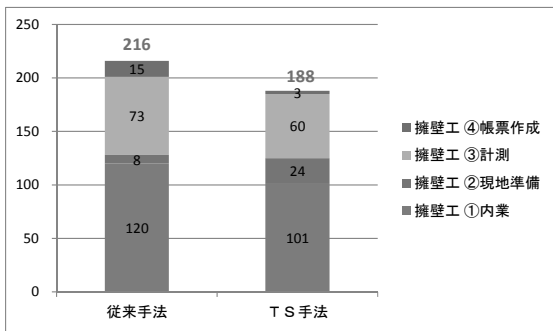


図2 従来手法とTS手法の作業時間比較

TS手法によって特に省力化したと考えられるのが、帳票作成作業と現地の計測作業である。帳票作成作業については、従来手法で必要であった野帳からの転記作業が不要になることが要因と考えられる。現地の計測作業については、従来手法が基準高さを測るレベルと、「長さ」を測るテープが別作業であったところ、TS手法では1回の端点を計測する動作が複数の作業項目の測定を兼ねるため、測定動作が少なくなるためと考えられる。

一方、現地準備については、TS手法の方が時間を要した。それは、検査の段階で足場が存置されているため、効率的に作業が出来るTS設置個所を見出すことが難しいこと(図3)、また、シールプリズムの設置作業時間が通常のTSによる測定に比べて余分に時間がかかる等が要因と考えられる。

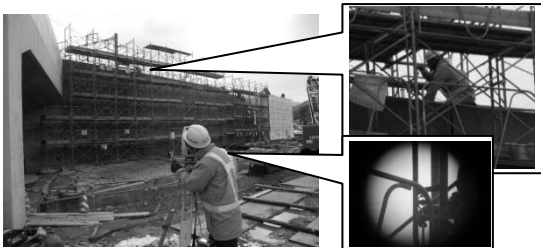


図3 擁壁工のTS出来形計測の様子

3.計測精度の検証

今回は、基準高、幅、高さの計測結果について、従来手法とTS手法との差異を検証した。

1)基準高

平均で10mm程度(最大29mm)であった(図4)。底盤だけでみると最大7mmであったので、差異の主因は天端の計測結果である。足場の間を縫うように視通を確保する必要があるため、本来の計測ポイントから若干移動させてプリズムを設置したため、その影響が出ていると考えられる。(なお、その移動については、既存のTSを用いた出来形管理要領で認められている半径10cm程度である。)

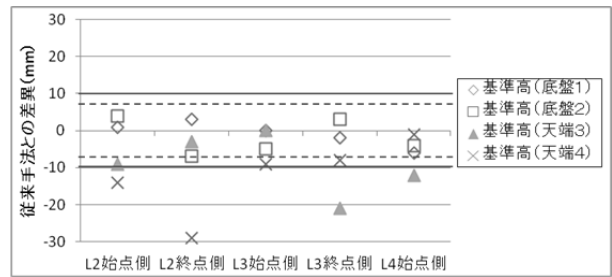


図4 従来手法とTS手法の計測結果の差異(基準高)

2)幅

平均で20mm程度(最大40mm)であった(図5)。

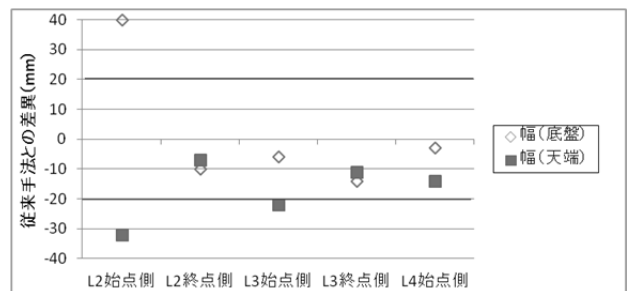


図5 従来手法とTS手法の計測結果の差異(幅)

この差異の要因としては、先述のプリズムの計測ポイントに加え、もうひとつの要因としては、幅の測定の起終点となる、構造物の角の面取り部分をどのように測るかによって、むしろ従来手法の結果に誤差が生じたことが想定される。TS手法については、この問題を排除するために図6のような治具を用意した。



図6 面取り部の誤差を防ぐための治具

なお、差異の評価として、施工者にヒアリングをしたところ、測定手法による差異が基準高で10mmというのは少し大きいということであった。

4.おわりに

今回の試行で、ある程度の省力化効果は確認出来たが、実用化に向けて計測精度に課題が残った。今回は誤差要因の分析までには至らなかったが、測定の所作が結果に及ぼす影響が大きいと考えられるので、今後の試行において、そうした誤差要因を出来るだけ排除したうえで、適用可能性を追求したいと考える。