

7 道路構造物研究部

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。

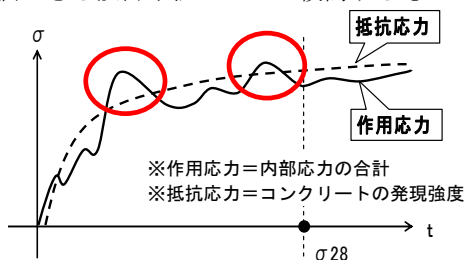


図-1 PC 橋の作用力と抵抗力の関係(概念)

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。

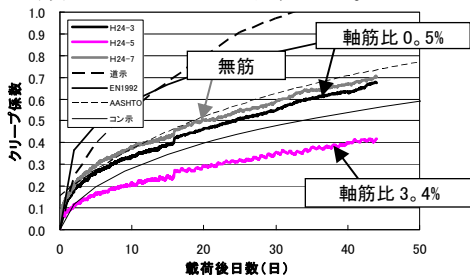


図-2 クリープ係数（軸鉄筋比の違い）

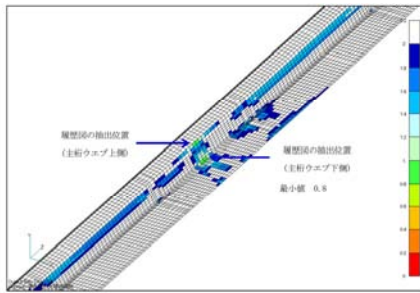


図-3 ひびわれ指数（初期の変状）
（ウェブ下側0.8→ひび割れ発生95%）

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。

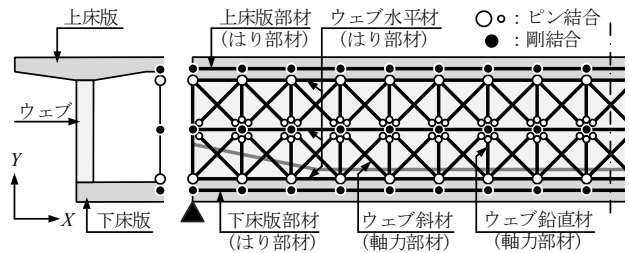


図-4 簡易設計手法に用いる格子モデル

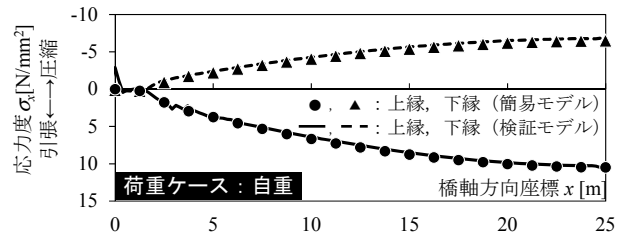


図-5 上・下縁応力度分布【図示範囲：0.5L】（例：自重状態）

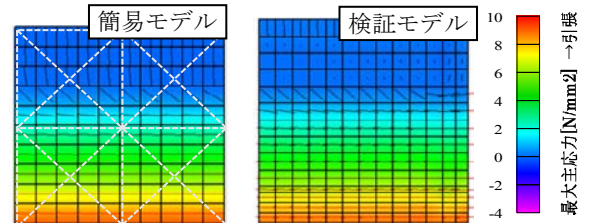


図-6 ウェブ最大主応力の比較【支間中央部】（例：自重状態）

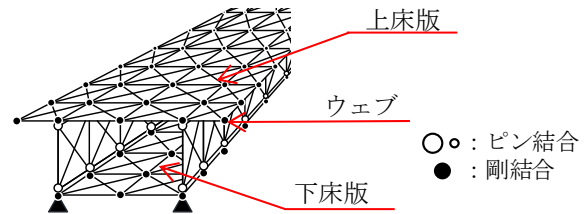


図-7 三次元格子モデル(概念)

【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

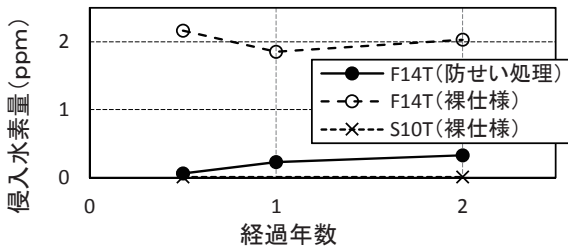


図1 腐食促進試験によるボルトへの水素浸入量素量が多いことがわかる。ただし、F14Tに防せい処理を施した場合、侵入水素量は大きく低下し、S10Tと同等の値を示すことがわかった。F14Tは防食することで、耐遅れ破壊性能が確保されることを明らかにできた。

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。

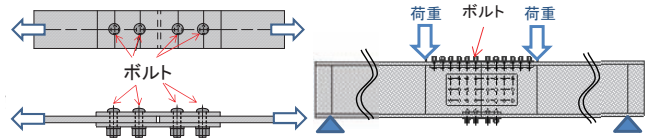
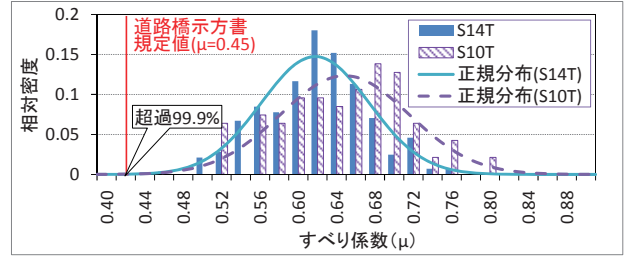
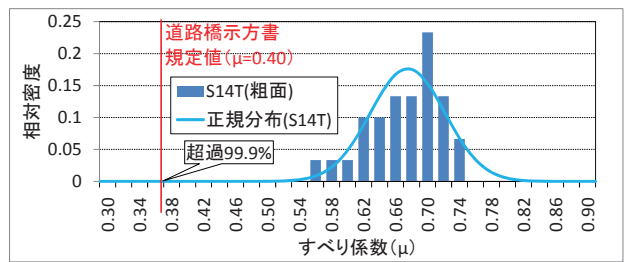


図2 標準すべり試験

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

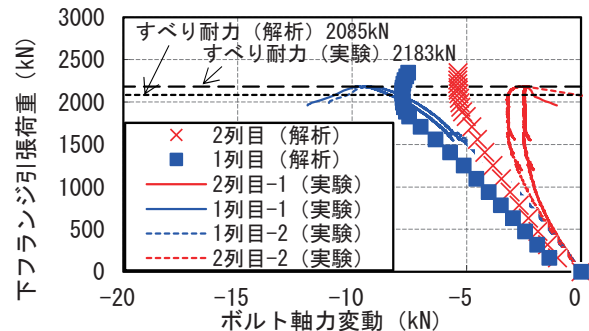


図5 桁曲げ試験におけるボルトの軸力変動

【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

道路構造物群の管理状態評価に関する調査検討

Study on prediction method for future states of bridges and evaluation method for road structure states

(研究期間 平成 24 年度～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

玉越 隆史
Takashi TAMAKOSHI
白戸 真大
Masahiro SHIRATO

研究官 宮原 史
Researcher Fumi MIYAHARA
研究員 岡田 紗也加
Research Engineer Sayaka OKADA

研究官
Researcher
交流研究員
Guest Researcher

横井 芳輝
Yoshiteru YOKOI
強瀬 義輝
Yoshiteru KOWASE

NILIM has been developing a strategic maintenance and management approach for aging road structures that can evaluate and optimize the levels of movability and structural safety of roads. Accordingly, this study has examined models to estimate the deterioration curves of individual distress types using bridge inspection data and evaluated the influence of element-level deteriorations on the time-dependent collapse risk of bridge systems. In addition, because various types of damage usually tend to appear simultaneously in structural elements such as crack and water seepage in concrete members, this study has also investigated the change in deterioration rates when different distress types appear simultaneously.

[研究目的及び経緯]

道路構造物群全体の維持管理の合理化のためには、道路橋の将来の資産状態について信頼性を考慮して評価できる手法や、管理水準について統一かつ定量的な尺度で評価する手法の確立が求められている。

本研究では、実測されたデータからの母集団推計や傾向分析等を実績のある代表的な統計的手法を直轄道路橋の点検データに適用し、劣化予測手法や構造の状態評価手法としての適用性について検討してきた。また、代表的な道路橋形式に対して、各部材と橋全体の性能の関連性に着目して FTA を適用したリスク構造の分析を行い、道路橋毎の構造的な冗長性の設計や維持管理の優先度付けなどに反映させるための定量的な評価方法の検討を行った。さらに、様々な予測や評価の元となる点検の高度化を視野に、複数の変状が複合的に発生・進展する劣化過程の分析および劣化予測の信頼性向上に関わる損傷の特徴整理を行った。

[研究内容及び研究成果]

1. 道路橋の劣化予測

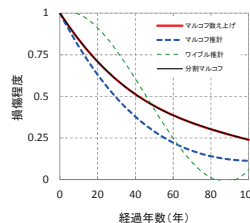
道路橋の部材の状態推移の特徴について、遷移確率の経年的依存性や時間的連続性などの観点から、それぞれ異なる捉え方となる複数の劣化予測モデルから、道路構造物などに適用実績のあるものを選定し、直轄管理の道路橋の点検データ約22,000橋に適用して予測結果について比較を行った。表-1に劣化特性の捉え方と適用した劣化予測モデルの関係を示す。図-1には各

手法毎に得られた状態遷移確率から求めた劣化曲線の例を示す。劣化曲線は各年の損傷程度の期待値を回帰して求めた。この例では①と③の手法では近い予測結果が得られたが、④はこれらと大きく乖離している。このように採用する劣化予測モデルにより、将来状態の予測結果は大きく異なる可能性があること、予測モデル相互の結果の相違の状況が損傷種類や着目部材毎にも大きく異なることを実データにより明らかにした。

表-1 損傷の劣化特性の捉え方と劣化予測モデル

劣化予測モデル	時間的連続性 (観測時点以外での状態遷移)		経年依存	
	離散	連続	なし (斉時性)	あり (非斉時性)
			単調傾向	非単調傾向
① マルコフ遷移モデル(集計)	○		○	
② マルコフ遷移モデル(最尤推計)		○	○	
③ 分割マルコフ遷移モデル(集計)	○		△ ^{注1)}	△ ^{注1)}
④ ワイブル遷移モデル		○		○

注1) 同じ分割区間内の経年依存性は無視される。



推計手法	決定係数
マルコフ数え上げ	1.00
マルコフ推計	1.00
ワイブル推計	1.00
分割マルコフ	1.00

期待値の回帰曲線

図-1 劣化予測結果(鋼板橋_腐食_A・B塗装系)の例

2. FTAを適用した道路橋のリスク構造の分析

供用期間中の道路橋の構造安全性は、構造形式にも大きく依存する構造系のリダンダンシーにも左右され

る。一方、各部材の安全余裕は劣化などにより経時的に変化するため供用中の構造安全性の評価には、橋全体の構造安全性に対する各部材の位置づけとその性能の経年的変化の両方を考慮することが必要である。

そこで本研究では、代表的な道路橋条件に対して、構造システムとしてのリスク構造をFTA法により分析するとともに、実際の点検データから得られた劣化特性を用いて損傷発生確率を求めて経年に伴うリスクの変化を試算した。頂上事象は「橋梁が致命的となる状態（国の点検における対策区分E1に相当）」として図-2に示すようなFT図を構築した。基本事象の確率 X_1 は、損傷種類、部位毎にマルコフ過程を前提に点検データから推定した状態遷移確率分布を使って経過年ごとに算出したリスク発生確率とした。基本事象を部材・損傷種類ごとのE1発生確率とするため、劣化予測式等から定めた損傷程度 e に対し、対策区分E1となる割合をANDゲートで結んだFT構造とした。

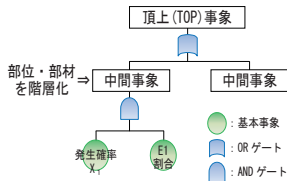
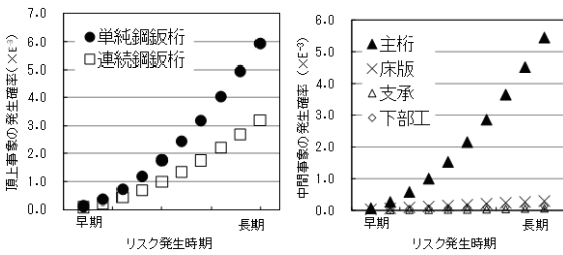


図-2 FT図の構造のイメージ

単純4主鋼桁(2連)と2径間連続4主鋼桁について頂上事象発生確率を比較した例を図-3(a)に示す。横軸の左側を長期、右側を早期(供用初期)に頂上事象が発生する確率として表している。早期の頂上事象の発生確率は同等であるが、経年により単純桁と連続桁に差が生じ、長期(100年想定)で単純桁の発生確率が連続桁の約2倍程度となった。中間事象である部材の破壊確率(図-3(b))をみると、主桁の腐食によるE1発生確率が頂上事象の発生確率に大きく影響している。主桁の腐食発生確率とE1発生割合は同じ値を用いているものの、腐食の進行が早い桁端部の数が単純鋼桁4箇所に対して連続鋼桁3箇所と少ないことから、頂上事象の発生確率が高くなっているためと考えられる。



(a) 頂上事象(単純橋と連続橋) (b) 中間事象(単純鋼桁)

図-3 事象発生確率の比較

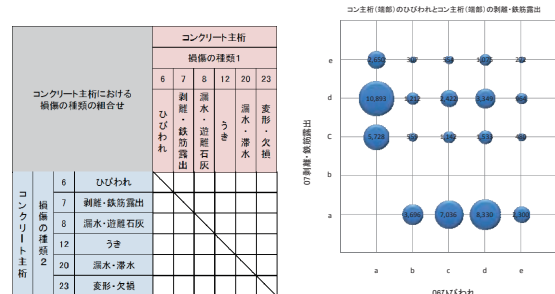
このように、構造系や材料の相違によっても経年で頂上事象が生じる確率やそのクリティカルとなる部材は様々に変化しうることが明らかにできた。一方で、道路橋の場合、部材の損傷や破壊が構造系全体へ及ぼ

す影響は設計の仮定と実態で乖離があることが多く、実構造物の構造特性を正確に反映した適切なFT図の設定、劣化や損傷の程度と部材の耐力性能の正確な対応付けが信頼性のあるリスク評価を行うためには極めて重要であるという課題も明らかとなった。

3. 特定の損傷特徴に係る整理

全国の直轄道路橋(約28,000橋)で蓄積された定期点検のデータを用いて、同時に生じる種類の異なる複数の損傷が部材の状態変化に及ぼす影響を分析した。

まず、同一要素に生じる複数の損傷種類の同時発生傾向について整理した。図-4(a)にコンクリート主桁を対象に、同一要素に発生しうる損傷の種類の組合せを示す。これらの損傷種類の組合せごとに、損傷程度の評価の相関関係を整理した。一例として、図-4(b)にコンクリート主桁のひびわれと剥離・鉄筋露出の損傷程度の評価の関係を示す。どちらかの損傷がない場合を除いて、ひびわれよりも剥離・鉄筋露出の程度が悪くなる傾向も窺えた。これらの結果を基に、コンクリート主桁において確認された複合的に発生する損傷の特徴を整理行ったものを、表-2に示す。ひびわれと剥離・鉄筋露出の劣化損傷進行過程を比較したとき、ひびわれの損傷程度が悪化する後を追うように、剥離・鉄筋露出の損傷が進行していることが分かる。このように部材としての評価の信頼性向上のためには、併発する種類の異なる損傷の影響も考慮した劣化過程を反映した評価が不可欠であるといえる。



(a) 組み合わせの種類 (b) 桁端部(ひびわれ・剥離・鉄筋露出)

図-4 コンクリート主桁の損傷の組み合わせの例

表-2 コンクリート主桁 複合損傷の劣化進行過程

状態	損傷の状況	点検における損傷の程度			
		ひびわれ	剥離・鉄筋露出	うき	うき
①	・損傷なし ・ひびわれ(0程度)が発生している。 ・うきが発生している。	a	a	a	a
②	・剥離・鉄筋露出が確認される。 ・剥離・鉄筋露出した周囲にうきが確認される。	b,c	a	a	e
③	・ひびわれ(0程度)が発生している。 ・ひびわれから剥離・鉄筋露出が確認される。 ・うきの進展により、コンクリートに剥離が確認される。 ・剥離した周囲にうきが確認される。	b,c	c,d,e	c	e
④	以下の損傷のいずれかが発生している状態。 ・ひびわれ(0程度)が発生している。 ・ひびわれから剥離が確認される。 ・鉄筋が露出し、腐食が確認される。 ・剥離・鉄筋露出した周囲にうきが確認される。	d	-	d	e
⑤	・ひびわれ(0程度)が発生している。 ・ひびわれから剥離が確認される。 ・鉄筋が露出し、著しい腐食が確認される。 ・剥離・鉄筋露出した周囲にうきが確認される。	e	-	e	e

【成果の発表】

国総研資料及び各種論文等で発表予定。

【成果の活用】

定期点検要領(案)の改定や設計基準原案の検討に反映。

道路構造物の信頼性に関する調査検討

Study on reliability of road structures

道路構造物研究部 橋梁研究室

(研究期間 平成 26～28 年度)

室 長	玉越 隆史
主任研究官	白戸 真大
研 究 官	宮原 史
交流研究員	山崎 健次郎

[研究目的及び経緯]

本研究は、これまで設計基準類において安全性について、信頼性の観点からは道路構造物の本体構造の性能との関係性において計画的に安全余裕が見込まれていないものも様々な付属物や付帯設備を念頭に、本体構造と調和した安全性を有するように設計する方法を確立することを目的としている。

平成 26 年度は、落下や倒壊などにより第三者被害を及ぼす恐れのある非構造部材に着目して、既往の事故事例の調査、第三者被害リスクの観点からの設計手法や使用材料、構造系などに着目して情報収集を行うとともに、代表的な構造系について材料等のばらつきが全体の安全性能に及ぼす影響を把握するための試算を行った。

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

道路構造物研究部 橋梁研究室

(研究期間 平成 26～28 年度)

室 長	玉越 隆史
主任研究官	白戸 真大
研 究 官	横井 芳輝
交流研究員	山崎 健次郎
交流研究員	川見 周平

[研究目的及び経緯]

我が国の道路橋の設計基準は、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が、耐荷力照査の基本書式は、依然として許容応力度設計法であり、求められる設計で目標とする期間や考慮する外力や抵抗の信頼性の程度を定量的に考慮して所要の性能を照査できる設計体系とはなっていない。

国総研では、過年度より部分係数設計体系による設計基準原案の検討を進めてきており、過年度までに代表的な橋梁条件に対する部分係数を提案している。平成 26 年度は、新形式橋梁や特殊な条件を有する橋梁に対する信頼性解析を実施し、提案した部分係数の妥当性の確認と適用性の拡大のための方策について検討を行った。

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

道路構造物研究部 橋梁研究室

(研究期間 平成 26～28 年度)

室 長 玉越 隆史
主任研究官 白戸 真大
研 究 官 横井 芳輝
交流研究員 水口 知樹

〔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。

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を行った。

道路構造物の総合的アセットマネジメントシステムの構築のための調査

Study to establish comprehensive asset management system for road structures

道路構造物研究部 橋梁研究室

(研究期間 平成 26～28 年度)

室 長 玉越 隆史
主任研究官 白戸 真大
研 究 官 宮原 史
研 究 員 岡田 紗也加
交流研究員 強瀬 義輝

〔研究目的及び経緯〕

本研究は、道路構造物の点検や長寿命化修繕計画の品質確保に資する制度や技術基準類等を確立するための技術的知見を得ることを目的とする。

平成 26 年度は、今後、我が国の合理的な維持管理制度や技術基準類等を検討していく上で参考とすることを目的に、法体系が我が国とは異なる欧州 3 カ国の制度や技術基準類の調査を行った。また、道路構造物の管理水準の定量化や可視化の実現方策の一つとして過年度までに国総研が提案した道路橋の状態評価指標について、適用性の向上などの改良のための参考となる情報を得るために、既に実務で導入されているドイツの状態評価指標について調査を行った。さらに、技術者の知識や能力に依存する要素の大きい道路構造物の定期点検において従事技術者の技術力と点検結果のばらつきや品質の関係を明らかにするために実際の道路橋の点検で得られるデータをもとに分析を行った。

既設道路橋の補修・補強設計基準に関する調査検討

Research to Develop Design Standards for Repair and Reinforcement Works of Existing Highway Bridges

(研究期間 平成 24～27 年度)

道路構造物研究部 橋梁研究室

室 長	玉越 隆史
主任研究官	白戸 真大
研 究 官	宮原 史
研 究 官	横井 芳輝
研 究 員	岡田 紗也加
交流研究員	山崎 健次郎
交流研究員	川見 周平
交流研究員	強瀬 義輝
交流研究員	狩野 武

[研究目的及び経緯]

道路橋では、高齢化の進展により劣化や損傷の事例は増加することが予測され、将来的にも地震などの災害や火災などにより損傷することは避けがたい。道路橋の損傷時には、供用性の判断のために現状における自動車荷重に対する耐荷力性能の迅速な評価が求められるが、現状では重量調整を行った多数の大型車両による載荷試験を行う方法に依らざるを得ないことも多い。このため信頼性が高く簡便に行える耐荷力評価手法の確立が異常時対応を迅速かつ容易とすることに資すると考えられる。

平成 26 年度は、道路橋の耐荷力評価に特化して、荷重載荷機能と計測機能を兼ね備え、単独で耐荷力試験が行える試験車の試設計を行うとともに、代表的な橋梁条件に対する載荷シミュレーションを行い試験能力の検証を行った。

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

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

間渕 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、性能規定型設計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

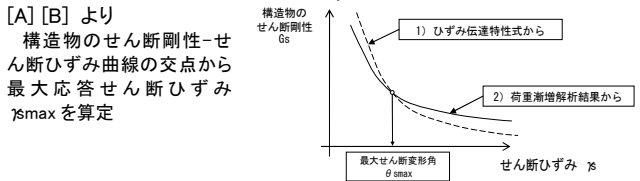
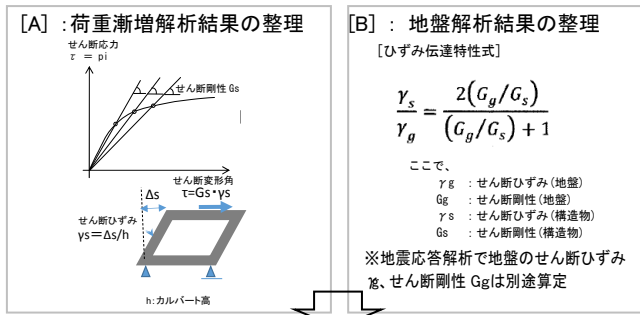


図-1 最大応答せん断ひずみ算定手順

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であり、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

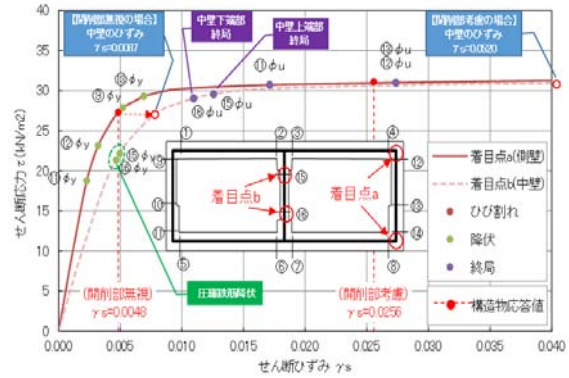


図-2 せん断応力~せん断ひずみ関係

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。

損傷したコンクリート道路橋への非破壊検査技術による検査診断 技術適用性の調査業務

Survey Work on Adaptation of the Testing and Diagnostic Techniques using NDE Techniques for Damaged Concrete Road Bridges

(研究期間 平成 26 年度)

道路構造物研究部 構造・基礎研究室
Foundation, Tunnel and Substructures Division
主任研究官 西田 秀明
Senior Researcher Hideaki NISHIDA

室長 間瀬 利明
Head Toshiaki MABUCHI
研究官 小原 誠
Researcher Makoto OBARA

This study summarize requirements for the internal damage inspection of the concrete structure after the confirmation of the performance of various NDE techniques through the verification method reflected the issues which are identified from the verification results in the past fiscal year.

[研究目的及び経緯]

現在、高度経済成長期に整備した道路構造物の多くが老朽化の時期を迎える一方で点検に必要な技術者不足の問題が顕在化している。こうした中、省令等により平成 26 年 7 月 1 日より長さ 2m 以上の橋とトンネル全てについて 1 回/5 年の近接目視を基本とした点検が規定された。点検の基本は近接目視と打音であり、点検者の熟練度に影響される。また、コンクリート内部損傷の把握は近接目視や打音では困難である。こうした背景から近年、コンクリート内部等の損傷を調査するための非破壊検査技術の開発が進められている。

本研究は過年度の非破壊検査技術の検証結果から課題を抽出し、これを反映させた検証方法により各種非破壊検査技術の性能について確認し、コンクリート構造物等の内部損傷を調査するための必要条件についてとりまとめた。

[研究内容及び研究成果]

1. 過年度の非破壊検査結果の整理

H25 年度は現状の非破壊検査技術（共同研究 18 者）について性能把握を目的に、予備情報を与えない条件で撤去桁（写真-1）と模擬損傷供試体（写真-2）を用いて検証したが、検査結果にばらつきが見られ、基本性能の把握ができない結果であった（図-1）。

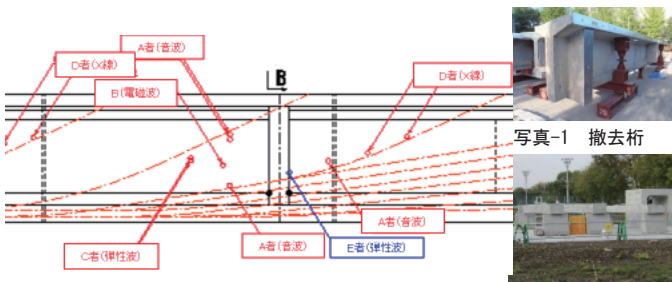


図-1 H25 撤去桁の内部損傷検査結果（抜粋）



写真-2 模擬損傷供試体

2. 非破壊検査技術の段階的検証

過年度の検査結果のばらつきの要因は測定時間の不足から計測箇所を省略していること等が考えられた。そこで平成 26 年度は、図-2 のフローで検査箇所を限定して、各損傷の検知能力や位置、規模の計測精度の基本性能を明らかにし（Step1）、検査条件を実橋レベルへ段階的に近づけていき（Step2~4）、計測条件が変化した場合においても基本性能を発揮できるか検証を実施した。

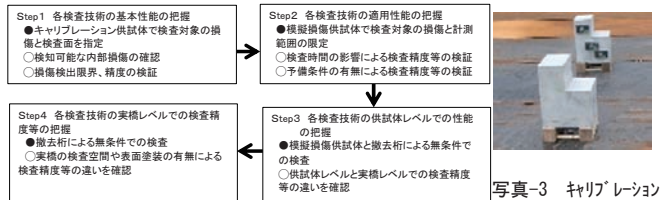


図-2 非破壊技術の検証フロー図

写真-3 キャリブレーション供試体

①基本性能の把握（Step 1）

耐力に影響が大きい P C 鋼材や鉄筋の健全性を検知できる技術が少なく検査手法も限定されることが確認できた。

表-1 検知可能な損傷の整理（申告に対する検証結果）

検査者	損傷種別	空洞		内部うき		内部ひび割れ		グラウト充填状態		PC鋼材の健全性		鉄筋の健全性	
		申告	検証結果	申告	検証結果	申告	検証結果	申告	検証結果	申告	検証結果	申告	検証結果
1	振動	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	電磁波①	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3	音波①	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4	X線①	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5	音波②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6-1-1	音波③	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6-2	X線②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6-3	電磁波②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6-4	赤外線①	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
7	電磁波③	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
8-1	弾性波①	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
8-2	赤外線②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
8-3	電磁波④	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
9-1	弾性波②	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10	弾性波④	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
11-1	X線③	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
11-2	超音波	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
12	赤外線③	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
13	弾性波⑤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○：検知可能 ×：検知不可
-：未計測 空欄：計測対象外

②適用性能の把握 (Step 2)

予備情報 (図面等) がない場合でも全体で約 50% の損傷を検知できており図面の有無の影響は少ないことが確認できた。誤差についてはデータ数が少ないが、予備情報があるほうが小さくなる傾向である (表-2)。

表-2 予備情報の有無による検知率

NO.	検査技術	予備情報有無による検知		計測精度向上有無	誤差推移
		無	有		
6-3	電磁波②	○	×	無	—
8-3	電磁波④	×	○	有	×→25cm以内
11-2	超音波	○	×	無	—

グラウト充填模擬 (S15.2×500mm)

NO.	検査技術	予備情報有無		計測精度向上有無	誤差推移
		無	有		
5	音波②	×	○	有	×→25cm以内
6-3	電磁波②	○	○	有	15cm→5cm以内
7	電磁波③	○	×	無	—
8-1	弾性波①	×	○	有	×→25cm以内
8-3	電磁波④	×	○	有	×→30cm以内

グラウト充填不足

NO.	検査技術	予備情報有無		計測精度向上有無	誤差推移
		無	有		
5	音波②	×	○	有	×→15cm以内
6-2	X線②	○	×	無	—
6-3	電磁波②	○	×	無	—
7	電磁波③	×	○	有	×→10cm以内
8-1	弾性波①	○	×	無	—
11-2	超音波	○	×	無	—

※内部うき、内部ひび割れ、鉄筋の健全性、P C 鋼材の健全性は検知なし

③供試体レベルでの検査精度等の把握 (Step 3)

撤去桁と模擬損傷供試体では損傷の検出率で大差はなく、模擬損傷供試体の検証評価は実橋レベルに適用可能であることが確認できた (表-3)。

表-3 撤去桁と模擬損傷供試体の損傷検出率

【模擬損傷供試体】			【撤去桁】		
検査者	検査技術	損傷検出率	検査者	検査技術	損傷検出率
3	音波①	1 (2%)	1	振動	1 (3%)
5	音波②	7 (14%)	6-2	X線②	1 (3%)
6-2	X線②	1 (2%)	6-3	電磁波②	2 (6%)
6-3	電磁波②	6 (12%)	7	電磁波③	4 (13%)
7	電磁波③	6 (12%)	8-1	弾性波①	1 (3%)
8-1	弾性波①	0 (0%)	8-3	電磁波④	12 (39%)
8-3	電磁波④	2 (4%)	9-1	弾性波②	10 (32%)
11-1	X線③	21 (43%)	解体による確認損傷数(箇所)		
11-2	超音波	19 (39%)	31		
模擬損傷数		49			

④実橋レベルでの検査精度等の把握 (Step 4)

実橋での作業を想定した作業スペース (張出床版端部離隔 150mm (写真-4) と 800mm (写真-5) で設定) や表面保護塗装の有無の制約条件がある場合でも損傷の検出率に大差はないことを確認した (表-4)。

表-4 実橋の制約条件における損傷検出率

【作業スペースの制約】					
検査者	検査技術	作業スペース制約有		作業スペース制約無	
		検知数	検出率	検知数	検出率
3	音波①		0%	2	13%
6-2	X線②	1	8%	1	6%
6-3	電磁波②	1	8%	2	13%
7	電磁波③		0%	1	6%
8-1	弾性波①	4	33%	2	13%
9-1	弾性波②	4	33%	1	6%
11-1	X線③	2	17%		0%
解体による確認損傷数		12		16	



写真-4 撤去桁 (桁間隔 150mm)

【表面保護塗装がある場合】					
検査者	検査技術	表面保護塗装有		表面保護塗装無	
		検知数	検出率	検知数	検出率
3	音波①	5	24%	4	22%
6-3	電磁波②	1	5%	2	11%
7	電磁波③	10	48%	3	17%
8-1	弾性波①	2	10%	7	39%
解体による確認損傷数		21		18	



写真-5 撤去桁 (桁間隔 800mm)

3. 内部損傷を調査するための必要条件案の整理

今回の非破壊検査技術の検証結果から、内部損傷を調査するための必要条件案について整理した。

- ・耐力に直接影響を及ぼす損傷を精度良く検知できる技術が求められるが、耐力への影響が大きい鉄筋やP C 鋼材の健全性を確認できた技術は少なく、検査手法も限定されるため今後の技術開発が必要である。
- ・現況の非破壊検査技術は計測原理から検知可能な損傷の違いや適用性能等の様々なバリエーションがある一方で使用するニーズ側にその性能が明らかになっていない。よって、ニーズを整理した上で各非破壊検査技術に要求する性能について検証していくことが今後必要である。

4. あと施工アンカーの非破壊検査

H26年度は、検査精度への影響を確認することを目的に、標準供試体を事前に測定し、製作した模擬定着供試体を用いて非破壊検査 (9者) を実施した。また、非破壊調査後に引張試験 (写真-6) を行い、変状と耐力の関係を整理した。また、撤去桁の既設アンカーボルト (写真-7) を用いて非破壊検査を実施し、実橋での適用性について検証した。結果、引張耐力低下が見られた6本の供試体に対して、すべてを検知できる非破壊検査技術はなかった (図-3)。実橋での適用性は定着部内部の充填不足・付着不良が大きいものについては5者が検知できていたが、小さいものになると2者で検知率が低下する傾向である。

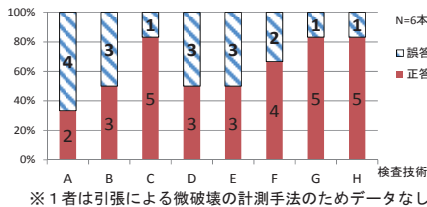


図-3 不具合の検出率 (引張耐力低下)



写真-6 引張試験

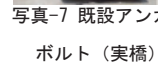


写真-7 既設アンカーボルト (実橋)

[今後の課題]

- ・各損傷の大きさや位置による耐力への影響を整理し、各ニーズに合致した非破壊検査技術が選定可能になるように要求性能を整理し、認証試験を実施していく必要がある。
- ・あと施工アンカーボルトについては、大きな充填不足の不具合は検知できているが、その他の不具合については検知率が低く、特に引張耐力の低下しているものについて検知ができていないので要因の分析と更なる技術開発が必要である。

[成果の発表]

共同研究報告書及び各種論文にとりまとめ予定

[成果の活用]

基準等へ反映させる予定

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

Survey Study on required performance and standards system such as soil structure

(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

室 長 間 淵 利 明
主任研究官 稲 本 義 昌

[研究目的及び経緯]

本研究は、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、内外の基準や動向の調査、点検結果等の分析を行う。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初期品質の管理水準について調査を行い、要求性能及び基準体系化のための課題について明らかにする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。土工構造物については、調査した国外の設計基準では、限界状態による照査を求めているものが多く、国内の設計基準では、擁壁に関して、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ることがわかった。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。さらに、トンネルの定期点検結果より、NATM工法で施工された覆工について、地山等級とひび割れの状況を整理し、C II断面及びD I断面に多く発生していることが確認できた。

既設土中構造物等の補修・補強基準に関する調査検討

Survey study on repair and reinforcement criteria such as existing soil structure

(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

室 長 間 淵 利 明
主任研究官 稲 本 義 昌

[研究目的及び経緯]

本研究は、既設土中構造物等の総点検等の点検結果及び被災経験等を踏まえ、重大事故に至る可能性のある損傷形態を対象に耐荷力試験やFEM解析等を行い、損傷状況及び補強効果の評価手法の検討を行う。また、定期点検要領の未策定構造物の現状、点検状況等を調査し、点検のあり方等の検討を行い、補修・補強基準や点検要領査定のための課題について明らかにすることを目的としている。

本年度は、既設の土工構造物（補強土壁、シェッド）、基礎などを対象に、損傷事例（その後の復旧、補強含む）等を収集し、損傷の要因とその傾向に関する調査分析を行った。補強土壁においては、排水施設が重要であり、損傷の要因が多いほど変状規模が大きくなること等がわかった。

また、土工構造物（擁壁、カルバート、シェッド）の道路防災総点検結果（カルテ点検を含む。）について、損傷図及び損傷写真等を確認し、要素区分、損傷程度の評価基準等（シェッド、大型カルバート等定期点検要領 平成 26 年 6 月）を適用し、損傷の特徴整理を行った。収集した損傷事例は、土工構造物毎に損傷事例集（損傷別に損傷状況解説等を記載）として整理した。

新しい無電柱化技術の道路構造への影響整理業務

Fundamental study on function of the pavement that buried cables in shallow depth under the road

(研究期間 平成 26 年度)

道路構造物研究部 構造・基礎研究室

室 長 間 渕 利 明
主任研究官 西 田 秀 明

[研究目的及び経緯]

道路防災の向上、安全で快適な通行空間の確保、良好な景観の形成や観光振興等の観点から、電線類の地中化等による道路の無電柱化を進める必要があるが、海外の主要都市と比較して我が国の無電柱化は遅れている。本研究は、無電柱化の更なる推進のために、低コスト化に向けた技術的な課題の解決を目的に検証試験等を行うことを目的としている。

本年度は、電力線や通信線を直接、あるいは電線等を保護する管や小型ボックスを舗装体内に埋設した交通量があまり多くない道路を想定した実験を行った。一般的な舗装の設計供用期間である 10 年間に相当する繰返し荷重を受ける道路機能や通電・通信機能に与える影響を検証するための車両走行実験を実施し、電線等をこれまでよりも浅く埋設できる可能性があることが分かった。

地盤材料の細粒化に伴う力学特性の変化に関する研究

Study on change in strength and deformation characteristics of geomaterials associated with increase in fines

(研究期間 平成 26 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

藪 雅行
Masayuki YABU
榎本 忠夫
Tadao ENOMOTO

This study focuses on liquefaction properties and postliquefaction undrained shear behaviour of fine sands containing nonplastic silt. In view of the above, a series of cyclic triaxial liquefaction tests was conducted on four different percentages of sand-silt mixtures. Consequently, the liquefaction resistance decreased with increasing silt content up to 50 %. Correspondingly, the postliquefaction undrained shear strength decreased with increasing silt content under otherwise the same condition.

[研究目的及び経緯]

2011 年の東北地方太平洋沖地震では、非塑性シルトを多く含む細砂の液状化が発生し、関東地方をはじめとした多くの箇所で甚大な被害をもたらした。また、ニュージーランドの 2010 年 Darfield 地震により液状化した箇所において 2011 年 Christchurch 地震で再び液状化が発生したこと、さらに、2011 年 Christchurch 地震の余震により、当該箇所ですら液状化が発生したことが報告されている。そして、再三液状化が発生したこれらの地盤は、同様に非塑性シルトを多く含む細砂であったことが分かっている。

従来から、非塑性シルト含有率が砂の液状化強度に及ぼす影響について検討がなされてきたが、細砂に及ぼすその影響についてははまだよく分かっていない。また、これらの研究の多くは地盤密度として相対密度もしくは間隙比を用いており、実際の土構造物等の設計で用いられている締固め度で検討した例は少ない。そこで、本論では、締固め度管理された非塑性シルト細砂の液状化特性と液状化後の非排水せん断特性について検討した。

[研究内容]

0.25 mm ふるいを通過し 0.075 mm ふるいに残留した珪砂 6 号と、それに非塑性の DL クレーを混合し細粒分含有率 F_c が 20, 30, 50 % になるように調整した試料を用いた。図-1 に粒径加積曲線と実際の F_c の値を示す。これらの試料を用いて求めた A-a 法による締固め曲線を図-2 に示す。繰返し非排水三軸試験の実施にあたっては、最適含水比に調整した試料を初期締固め度 $D_{c0} = 95$ % まで突き固め、直径 5 cm ・高さ 10 cm の供

試体を作製した。二重負圧法を用いて飽和化を図り(間隙圧係数 $B \geq 0.95$)、初期有効拘束圧 100 kPa まで等方圧縮後、非排水状態で周波数 0.1 Hz の繰返し軸応力を載荷した。その後、軸ひずみ両振幅 5 % を超えた時点で繰返し載荷をやめ、非排水状態のまま軸ひずみ速度 0.5 %/min で単調載荷を実施した。

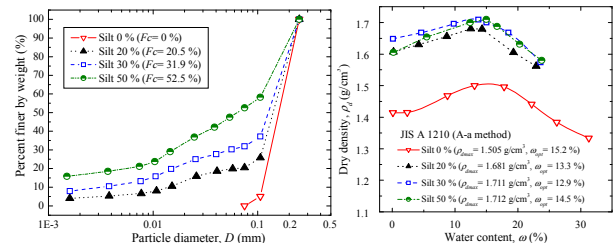


図-1 粒径加積曲線

図-2 締固め曲線

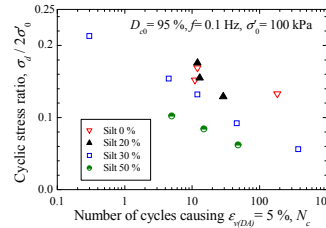


図-3 液状化強度曲線

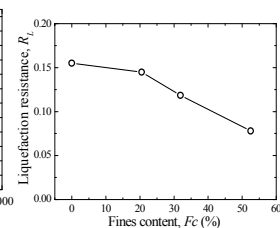


図-4 R_L と F_c の関係

[研究成果]

図-3 は、繰返し軸力比 $\sigma_d / (2\sigma'_0)$ と軸ひずみ両振幅 5 % が生じた時の繰返し回数 N_c の関係である。Silt 0 % と Silt 20 % を比較すると、 $\sigma_d / (2\sigma'_0) = 0.15$ 付近においては両者に有意な差はないが、 $\sigma_d / (2\sigma'_0) = 0.13$ 付近では前者の N_c の方が約 6 倍大きい傾向にある。

図-4 は、図-5 に示した液状化強度曲線において直線を仮定し算出された液状化強度 R_L ($N_c = 20$ の時の

$\sigma_d/(2\sigma'_0)$ と F_c の関係である。同図から、 F_c の増加に伴って R_L が減少する傾向にあることが分かる。これは、盛土材料の細粒化に伴って液状化強度が下がることを意味している。

図-5, 6 は、ほとんど同じ $\sigma_d/(2\sigma'_0)$ の下で実施された液状化試験における、それぞれ、Silt 0, 20, 30 %の軸ひずみ ε_v と過剰間隙水圧比 R_u の時刻歴、Silt 30, 50 %の ε_v と R_u の時刻歴の比較である。図-5 から、Silt 0 %では R_u が 1.0 に近い状態でも ε_v が緩やかに増加していくのに対して、Silt 20, 30 %では R_u が 1.0 に達する直前で急激に ε_v が増加し脆性的な液状化に至っていることが分かる。同様に、図-6 に示した Silt 30, 50 %の比較から、 F_c が低い Silt 30 %の方が ε_v および R_u が緩やかに増加していく傾向にあることが分かる。

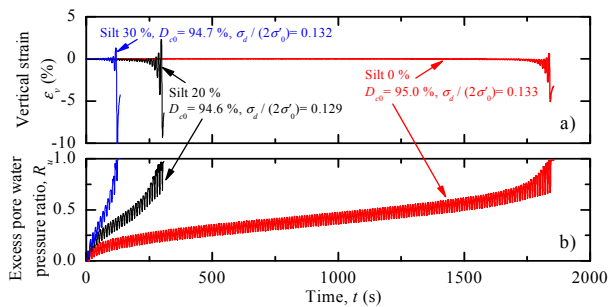


図-5 Silt 0, 20, 30 %における ε_v と R_u の時刻歴

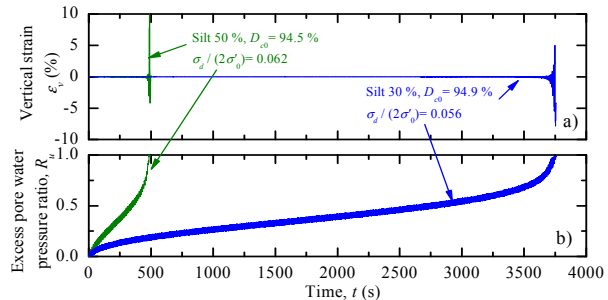


図-6 Silt 30, 50 %における ε_v と R_u の時刻歴

次に、図-5, 6 に示したそれぞれの液状化試験（先述のように $\sigma_d/(2\sigma'_0)$ はほとんど同じ）後に非排水状態で単調荷重を行った際の結果を図-7, 8 に示す。図-7a) に示した Silt 0, 20, 30 %の比較から分かるように、液状化試験後の非排水せん断強度は、比較的大きな ε_v に達するまでほとんど 0 であるがその後増加する傾向にある。 F_c が低いほど軸差応力が急増する ε_v は小さく、強度は大きい傾向にある。また、図-7b) は非排水せん断によってのみ生じた過剰間隙水圧 Δu を示しているが、いずれの供試体でも負の Δu が生じており F_c が低いほどより膨張的な挙動となっている。図-8 は、Silt 30, 50 %における液状化後の非排水せん断挙動の比較であるが、図-7 で述べたような傾向が生じていることが分かる。これらの液状化後の挙動は、図-4 に示した F_c の増加

に伴って R_L が減少する関係に対応している。したがって、液状化後の地盤の支持力は F_c の増加に伴って減少することに留意が必要である。

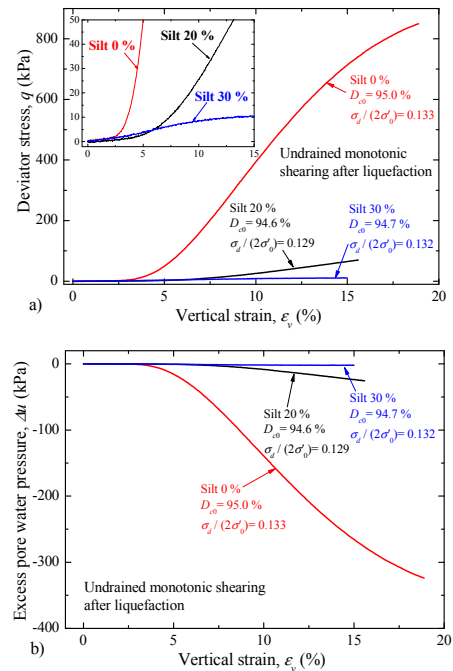


図-7 Silt 0, 20, 30 %における液状化後の非排水せん断挙動の比較

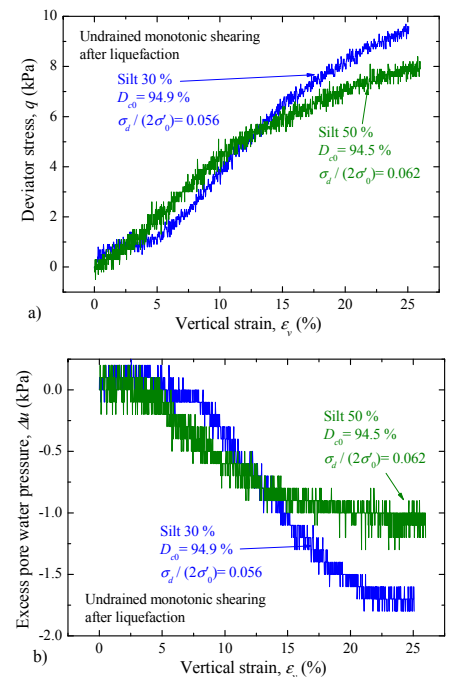


図-8 Silt 30, 50 %における液状化後の非排水せん断挙動の比較

[成果の活用]

道路土工構造物技術基準・同解説に反映する予定。

舗装性状調査結果を活用した橋梁、土工等の損傷把握に関する調査

Study on possibility of damage estimation of road structures using the road surface condition survey.

(研究期間 平成 26 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

In this study, we examined relationship between crack-pattern of pavement with damage of structures by inspection data of the structure and the pavement to establish a technique to confirm the damage of structure under the pavement from daily inspection of the pavement.

As a result, we have confirmed that increased the intersection numbers and intersection density of cracks of the pavement, in case of be confirm high relationship on damage of slab of the bridge with crack-pattern of pavement, then we confirm the crack pattern was deform to square. Similarly, we have confirmed that crack pattern was deform to extend in the road length direction, in case of exist soil structure under the pavement.

[研究目的及び経緯]

橋梁床版のコンクリートの土砂化に伴う床版の抜け落ちや、法面及びその周辺の土工構造物（擁壁等）の変状に伴う道路の崩壊の発生は、第三者被害に直結するとともに長期にわたる通行規制などによる社会的影響が大きい損傷である。これらの損傷は数年に1回の構造物点検により確認しているが、日常的に把握できれば早期にその前兆の把握が可能となる。

本研究では、路面性状調査の画像データを用いて舗装ひび割れ性状を整理するとともに、舗装ひびわれ性状と舗装下の道路構造物の損傷等との関連性について分析し、舗装の状態から舗装下の構造物の損傷状況を推定する手法について検討した。

[研究内容]

1. 舗装の路面性状に関するデータの活用に関する文献調査・整理

国内外の文献調査により、舗装の路面性状と舗装の下にある路盤、路体、埋設物、構造物の設置状況や変状あるいは地すべりや盛土の崩壊などの災害の発生状況との関連性に着目した研究等を調査し、対象構造物と舗装の路面性状との関連性から得られる情報を整理した。調査では、過去15年分の国内外の主要な学会等の論文集、出版図書、雑誌等に投稿された論文を対象とした。

2. 舗装ひび割れと道路構造物等の状態との関係整理

直轄国道の路面性状調査で撮影されたデジタル画像から舗装に発生したひび割れパターンを抽出し、ひび割れの平均幅、延長、面積、交点数、交点密度、分布の縦横比等のひび割れ性状を整理した。一方、舗装下の構造物（橋梁床版、土工構造物）の点検結果から損傷状態を整理し、両者を重ね合わせることで、舗装のひび割れ性状と構造物の損傷の相関を分析し、路面表面の状態から舗装下の構造物の状態を把握する手法について検討した。

[研究成果]

主な研究成果の概要を以下に示す。

1. 舗装の路面性状に関するデータの活用に関する文献調査・整理

舗装の路面性状と舗装の下にある路盤、路体、埋設物、構造物の設置状況やその損傷状況との関連性、あるいは、地すべりや盛土の崩壊などの災害の発生状況との関連性に着目した研究について文献検索を行ったが、研究事例が乏しく、文献が抽出できなかった。このため、構造物の診断技術のうち、本研究の目的である舗装表面の状態から舗装下の構造物の損傷を推定する方法に応用の可能性のある技術を検索・抽出し、とりまとめることとした。

その結果を表1-1に示す。非破壊診断技術としては、大きく分けて①表面付近の状態を測定・記録・診断する技術、②舗装や構造物内部の状態を非破壊で診断す

る技術の2種類が抽出された。①については、レーザやカメラによる画像の解析による舗装表面の損傷（ひび割れ性状）を測定する手法に加えて、赤外線サーモグラフィにより表面温度から表面付近の状態（例えばコンクリートの浮きなど）を診断する手法等が集出された。また、②については、電磁波により舗装や舗装下の橋梁床版上面及び路面下空洞を診断する手法が確認された。また、舗装及び舗装下の構造的な健全性を確認する手法として、重錘落下たわみ測定（FWD）や車両によるバナ下振動加速度の測定による方法等が抽出された。

表 1-1 文献調査結果

舗装・構造物診断技術		対象	内容
大分類	No 項目		
画像	1	路面画像技術（レーザ法）	路面 レーザ技術による路面性状測定
	2	路面画像技術（カメラ）	路面 画像技術による路面性状測定
	3	赤外線技術	路面 赤外線サーモグラフィ法による診断
非破壊調査	1	電磁波技術 1	舗装厚 電磁波技術による舗装厚の調査
	2	電磁波技術 2	床版上部 電磁波技術による床版上部の損傷箇所の把握
	3	電磁波技術 3	舗装下部空洞 電磁波レーダによる陥没・空洞箇所の特定
	4	FWDを用いた技術	舗装体 非破壊でのたわみ量調査
	5	iPhoneを用いた技術	路面 加速度等による路面プロファイルの推定

2. 舗装ひび割れと道路構造物等の状態との関係整理

本検討では、直轄国道の696橋（延長約220km）の橋梁部と、延長約98kmの土工部を対象とした。

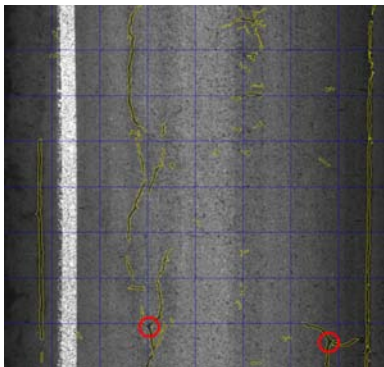


図 2-1 ひび割れ抽出状況
（青線が50cm×50cmメッシュ、黄色が抽出されたひび割れ、赤丸がひび割れの交点）

分布の縦横比を算出し、画像1枚（4m×4m）ごとに集計した（図2-1参照）。

一方、構造物点検の結果から、橋梁部については床版の損傷状態、土工部については盛土、擁壁等の変状状況を整理した。

以上の整理から舗装のひび割れと舗装下の構造物の損傷状態の関連の高低を表2-1のとおり4段階に分類した。

各構造物と舗装ひび割れの関連ランクごとのひび

表 2-1 舗装のひび割れと構造物損傷の関連ランクの設定の考え方

(a) 橋梁部

記号	関連ランク	関連ランク設定の考え方
◎	相関あり	舗装上に、舗装下の構造物の損傷に近いひび割れが発生している、あるいは、舗装のひび割れに遊離石灰、剥離等が生じている
○	相関がある可能性あり。	舗装のひび割れから、下部工損傷やその周辺での損傷（ひびわれ、遊離石灰、剥離）等が生じた可能性がある
△	伸縮装置周辺の変状と相関がある可能性あり	橋梁の伸縮装置周辺の舗装ひびわれなど、その下の下部工の変状には、関連性が低いと考えられる損傷が生じている
×	相関なし	支承の腐食など、舗装の状態に影響度が低い構造物損傷が見られる

(b) 土工部

記号	関連ランク	関連ランク設定の考え方
○	相関がある	盛土下の地盤沈下（不同沈下）等で、擁壁の損傷やその周辺での損傷（ひびわれ、遊離石灰、剥離）、傾斜等が生じ、その後、舗装のひびわれが発生した可能性がある
△	相関がある可能性あり。	構造物の損傷があり、舗装のひびわれが発生しているが、両者の関係性が直接的な関係性にない
×	相関なし	構造物の損傷など変異が見受けられるが、舗装上にひびわれ等変異が確認できない

割れパターンとの関係を表2-2に示す。これによると、橋梁部においては、関連ランクが高くなると、ひび割れの交点数、交点密度が増加するとともに、ひび割れ分布の縦横比が1に近くなることを示している。すなわち亀甲状のクラックが正方形あるいは円形に発生する状況となった場合、橋梁床版の土砂化などの損傷の危険性が高いといえる。一方、土工部については関連ランクが高くなると橋梁と同様に交点数や交点密度が増加するが、分布の縦横比は道路延長方向に拡大していく傾向がみられた。

表 2-2 関連ランクとひび割れ性状の関係

(a) 橋梁部

関連ランク	◎	○	△	×
ひびわれ延長 (m)	34.010	27.547	21.426	18.874
面積 (㎡)	0.511	0.493	0.458	0.355
交点数	59.333	36.000	21.500	12.143
縦横比延長ベース	1.077	1.337	1.509	1.433
縦横比面積ベース	1.023	1.525	1.405	1.289
交点密度 [個/㎡]	0.400	0.556	0.187	0.075
単位面積あたりひびわれ面積 [㎡/㎡]	0.004	0.007	0.005	0.003

(b) 土工部

関連ランク	○	△
ひびわれ延長 (m)	139.239	120.969
面積 (㎡)	3.142	2.585
交点数	90.083	69.333
縦横比延長ベース	2.439	2.087
縦横比面積ベース	2.610	2.508
交点密度 [個/㎡]	0.582	0.376
単位面積あたりひびわれ面積 [㎡/㎡]	0.022	0.014

【成果の活用】

構造物損傷の把握について道路管理者に有益な情報を提供していくため、舗装の状態から舗装下の構造物の損傷を把握する手法の技術資料をとりまとめる。

道路の液状化被害対策に関する調査

Study on liquefaction damage control of the road.

(研究期間 平成 26 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

This study summarize the technical knowledge for suppressing the liquefaction damage, by analyze of relationship between damage by liquefaction of road surface at the Great East Japan Earthquake and road structure conditions, ground conditions, state of underground buried object.

We analyzed the relationship between the liquefaction damage status and pavement thickness. As a result, the damage caused by liquefaction, the occurrence if there is a pavement thickness of about 1.2m above it was found that had been suppressed. Also, extensive liquefaction damage involving road closure and emergency construction was understood that it is difficult to occur if the road is a pavement thickness of at least about 0.6m.

[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では、液状化により一時的に道路の通行に支障が生じた区間が発生し、緊急輸送道路等で避難・救援活動の支障となった。このため国土技術政策総合研究所では、道路（平面部）の液状化に伴う被害について、道路の諸条件（舗装構成、地盤条件等）を踏まえた対策手法の確立のための検討を行っている。

本研究は、東日本大震災における道路平面部の液状化被災状況に関する情報を収集し、被災状況等と道路構造、道路下の埋設物、地盤条件等との関係を分析することで、液状化による被災が起きやすい条件、起きにくい条件を整理し、道路平面部における液状化被害を抑制するために参考となる技術資料を作成するものである。

[研究内容]

1. 調査の概要

東日本大震災で被災した合計 5 地区（茨城県日立市、神栖市、千葉県千葉市、香取市、過年度検討を実施した千葉県浦安市）の道路を対象として、各自治体から収集した①液状化被害の箇所及び被害状況、②道路構造等・埋設管等の諸条件、③地盤条件（ボーリング柱状図、液状化判定結果）に関するデータ整理し、被害に関する相関分析を効果的に行うことを念頭に、一元的にデータを管理できるように GIS を活用して整理し

た。

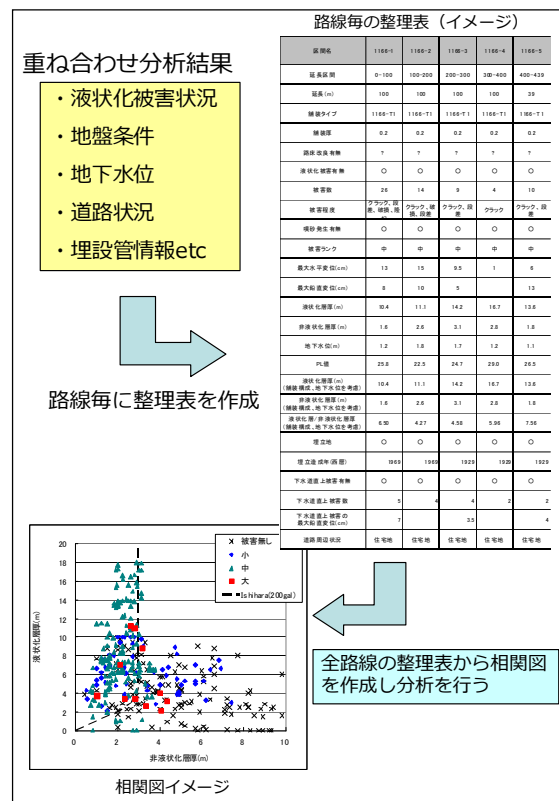


図-1 相関整理のイメージ図

GIS に構築した各種データをもとに、液状化被害状況（被害形態、被災程度等）、道路構造等・埋設管等の

諸条件、地盤条件との関連性について整理し、重ね合わせによる分析、数値による相関分析等を行った。重ね合わせ分析は、図-1に示すように被災状況、地盤条件、道路諸元、埋設管情報等を100m区間毎の整理表に集計し、被害と各条件との相関関係を分析した。

以下に、液状化被害の箇所及び被害状況、道路構造等・埋設管等の諸条件、地盤条件の整理方法について詳述する。

① 液状化被害の箇所及び被害状況に関する整理

整理対象となる路線(過年度成果を含む延べ140路線、延べ80km程度)に対して、車道で発生した液状化による道路地表面部の被災発生箇所について整理を行い、被害形態(噴砂、亀裂、段差、陥没、占用物件の突出等)、被災程度については、平面図に図示した(図-2参照)。また、あわせて被災時の交通機能への影響について整理を行った。

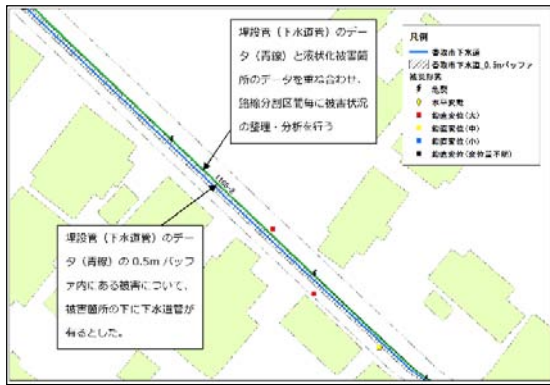


図-2 路線の平面位置図表示例

② 道路構造等・埋設管等の諸条件に関する整理

対象路線の標準断面などの資料から舗装構成(路床改良も含む)を整理するとともに、下水道管路の位置情報を平面図上に整理した(図-2参照)。

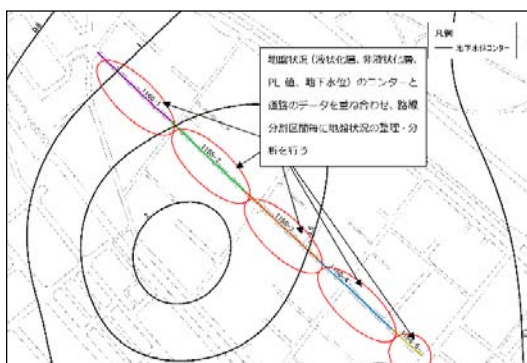


図-3 地下水水位コンター図作成例

③ 地盤条件の整理

検討対象箇所周辺のボーリングデータおよび土地造成の履歴等について整理するとともに、各ボーリング地点で、東日本大震災発生時の地震動強度に基づき液

状化判定を行い液状化層厚、PL値等を求めた。更に、地下水位や液状化層厚等を、最適化手法によるコンター処理を行うことによって各検討箇所直下(100m区間毎に分割)の地盤条件として割り当てた。

[研究成果]

主な研究成果の概要を以下に示す。

1. 液状化被害と道路諸条件との相関整理

相関分析にあたっては、道路の通行および構造的な変形に着目した被害ランクを表-1のとおり設定し、各区間への割り当てを行った。

表-1 被害ランクの考え方

ランク	道路の通行に着目した被害ランク	構造的な変形に着目した被害ランク
大	緊急工事、通行止めがあった	鉛直変位 10cm 以上
中	復旧を行った路線	鉛直変位 5~10cm
小	上記以外の路線	鉛直変位 0~5cm

これらの整理・検討をもとに算出した舗装厚と液状化層厚の関係を被害ランク別に示すと図-5のとおりとなる。

これによると、舗装厚が厚く液状化層厚が薄い路線ほど液状化被害が小さい傾向が認められ、舗装厚が概ね0.8m以上で、緊急工事や通行止めを伴った被害ランク「大」および復旧作業を伴った「中」の被害が生じていないことがわかる。また、舗装厚が概ね1.2m以上(路床改良を含む)の区間では車道部で液状化による被害が生じていないことがわかった。

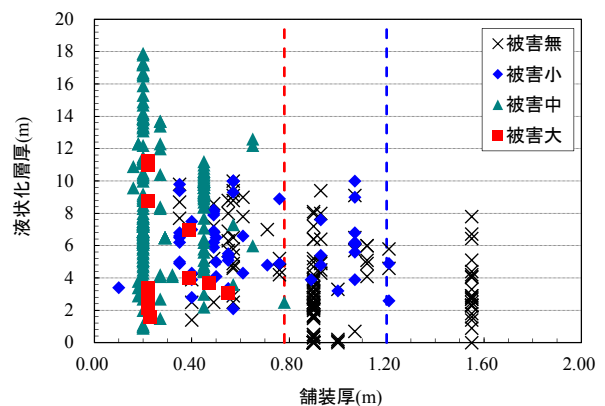


図-5 舗装厚と液状化層厚の関係

[成果の活用]

液状化危険度が高い重要路線を抱えている道路管理者の液状化対策立案の基礎資料となるよう、本研究の成果をもとに、道路平面部の液状化対策技術資料をとりまとめる予定である。

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 26～28 年度)

道路構造物研究部 道路基盤研究室

室 長 藪 雅行
研 究 官 榎本 忠夫

[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技術基準・指針類において改訂すべき内容を検討するものである。

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。また、盛土工と軟弱地盤対策工について、道路土工指針と他の技術基準（鉄道構造物等設計標準、道路橋示方書等）の記述内容を比較・整理した。

前者の分析の結果、自然斜面・切土のり面では、降雨時・地震時とも、崩壊高さが高いほど発生崩壊土量が大きく、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崩壊土量が大きい傾向にあった。これは、長大自然斜面に建設する対策工や大型土工構造物に対する設計・施工上の配慮が必要であることを示唆している。また、復旧費用は発生崩壊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ったが、通行止め時間の長さは発生崩壊土量とはあまり相関がなかった。通行止め時間の長短には現地条件や迂回路の有無等の様々な要因が関係してくるためであると考えられ、道路土工構造物における修復性を考慮した設計手法の構築にあたっては、これらの要因も加味することが重要であることが示された。

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 Performance Objectives for Pavement and Maintenance Standards for 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

室 長 藪 雅行
研 究 官 東 拓生
研 究 官 石原 佳樹

[研究目的及び経緯]

本研究は、舗装のライフサイクルコスト削減を目的とした適材適所の材質適用のため、耐久性に優れるコンクリート舗装の適用方法、点検・診断手法及び補修方法について検討し、コンクリート舗装の維持管理体系を検討するものである。

平成 26 年度は、過年度業務で提案した点検手法を用いて現地調査を行い、コンクリート舗装の損傷状況と道路の各種条件を比較した。その結果、主要な幹線道路や、人家が連担しない平地区間においては比較的良好な状態が維持されている一方、積雪寒冷地、盛土などの地盤状態が良くない区間、比較的規模の大きい埋設物がある区間については損傷が多く発生する傾向が確認された。また過年度提案した点検手法を現場で試行することで、ひび割れ部における段差等の項目の追加や、点検者への実地訓練の必要性といった改善すべき点が明らかになった。さらに補修方法について現地事務所に聞き取り調査を行い、現場における維持管理の実態を整理するとともに、併せてコンクリート舗装の供用が多い海外の文献等から、海外における補修の考え方を整理した。

盛土・切土・軟弱地盤対策工・自然斜面对策工のリスクマネジメント手法に関する調査研究

Study on risk management method for embankment, cut slope and countermeasures for weak ground and natural slope

(研究期間 平成 26～28 年度)

道路構造物研究部 道路基盤研究室

室 長 藪 雅行
研 究 官 榎本 忠夫

[研究目的及び経緯]

本研究は、道路土工構造物の点検結果および維持管理実態の調査を行い、第三者被害や道路機能の制限等の支障の観点からリスク要因を特定し、リスク軽減の観点から維持管理で確認すべき項目や合理的な点検手法等について検討するものである。

平成 26 年度は、道路土工構造物（切土のり面・盛土のり面・グラウンドアンカー工・擁壁工・ロックシェッド・スノーシェッド・落石予防工・落石防護工・カルバート工・その他）に関する「総点検実施要領（案）【道路のり面工・土工構造物編】（平成 25 年 2 月 国土交通省道路局）」に基づく点検結果を用いて、土工構造物における損傷の特徴等を分析するとともに現状の課題を抽出した。その結果、施工から 20 年以上が経過した土工構造物では、異常を有する割合が顕著に増加する傾向にあり、補修が実施されている割合が高かった。また、過去に補修を行った箇所については、その後も異常が認められ、その異常の危険度も高い傾向にあることがわかった。このことから、補修履歴を有する土工構造物に対しては、点検等を通じて補修後の経過を把握することの必要性が示された。

舗装の管理状態評価に関する調査検討

Study on management state evaluation of pavement.

(研究期間 平成 26～28 年度)

道路構造物研究部 道路基盤研究室

室 長 藪 雅行
研 究 官 東 拓生
研 究 官 石原 佳樹

[研究目的及び経緯]

本研究は、近年活用が進んでいる排水性舗装や、耐久性が高くライフサイクルコスト低減が期待できるコンクリート舗装など、各種舗装の特性等に応じた合理的な状態評価方法及び舗装の長寿命化手法について検討するものである。

平成 26 年度は、排水性舗装の路面性状調査、現地目視調査による骨材飛散の状況（面積率で表現）の調査、きめ深さ（MPD）、国際ラフネス指標（IRI）等の測定調査を行い、各評価指標の関係を分析・整理した。その結果、目視調査による骨材飛散の面積率は、路面性状調査によるひび割れ率との相関が見られるものの、MPD 及び IRI との相関がより高く、これらの指標により骨材飛散状況を適切に表現できることが示唆された。

また平成 18 年度から直轄国道で行われている予防的修繕工法（シーラ材注入工法、切削工法）の追跡調査結果の整理・分析を行い、シーラ材注入工法については特に大型車交通量が少ない区間では一定の延命効果を確認した。また切削工法は、大型車交通量が多い区間で延命効果が確認され、わだち掘れとひび割れの両者に対して延命効果を発揮することが確認された。