

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 Structures 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
宮原 史
Fumi MIYAHARA
松村 裕樹
Yuuki MATSUMURA

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 27 年度は、平成 26 年度に収集した構造物の落下、転倒等に起因する事故事例を分析し、第三者被害防止に着目した構造設計手法の要件を整理した。また、標識・照明柱に着目して、第三者被害リスクの定量的な評価方法を検討した。

〔研究内容及び成果〕

1. 構造物の落下、転倒等に起因する事故事例の分析

第三者被害防止に着目した構造設計手法が具備すべき要件を抽出するためには、少なくとも過去に発生した構造物の落下、転倒等に起因する事故事例から、事故を防止する観点で設計において考慮すべき事項を抽出する必要がある。そこで、平成 26 年度に収集した計 72 件の事故事例の原因を分析した結果、少なくとも以下を考慮すべきとの認識を得た。

- 例えば強風が原因と指摘された標識・照明柱の倒壊等の事例が多数あることから、風荷重など、荷重のばらつきを考慮する必要がある
- 例えばトンネル天井板が落下した事故では天井板に打設された接着系ボルトに完成時点から強度が足りなかったことが指摘されたことから、強度のばらつきを考慮する必要がある

- 例えば基部の腐食が原因と指摘された標識・照明柱の倒壊等の事例が多数あることから、経年劣化を考慮する必要がある
- 例えば接続部品の局所的な腐食が原因と指摘された照明柱の倒壊等の事例があることから、経年劣化のばらつきを考慮する必要がある
- 例えばトンネル案内看板が落下した事故では一部の打込式のピンの損傷から連鎖的に事故に至った可能性も否定できないことから、一部の部材の損傷が構造系全体の致命的な状態に至りにくい性質（以下、リダンダンシーと呼ぶ）を考慮する必要がある
なお、事故事例の原因となった損傷発生箇所には構造上近接目視が不可能であった箇所もあり、点検性も第三者被害リスクに影響することは明らかであることから、設計と連動して維持管理も考慮する必要がある。

2. 標識・照明柱を対象とした信頼性の試算

まずは道路橋など本体構造物と比較して構造が単純な標識・照明柱を対象に信頼性の試算を行って、信頼性の評価方法確立に向けた検討を行うこととした。1. より、事故の原因となった損傷発生箇所は不連続部に集中していることから、標識・照明柱の第三者被害リスクはこれら不連続部 1 つ 1 つの破壊確率、数、配置により決定されると考えられる。そこで、昨年度収集した標識・照明柱の設置事例を、用いられている接合部の種類と構造形式の観点から分類した 10 種類を試算対象とした。モデル化には、平成 26 年度と同じくフォールト・ツリー（以下、FT と呼ぶ）を用いることと

した。

ここで、標識・照明柱を接合部の組合せで表現するとすれば、接合部ごとにモデル化の方法を確立すれば、接合部を構成する部品の数などの詳細が異なっても、モデル化された接合部同士を組合せることで様々な標識・照明柱を容易にモデル化することができる。そこで、試算を行うに先立って、10種類の試算対象を、各部材、及び各部材の接合部（＝モジュール）、接合部を構成する部品（＝サブモジュール）に分解した。その結果、10種類の試算対象は、部品の数などの詳細が異なっても7種類のモジュール及び7種類のサブモジュールの組合せでモデル化できることを示した（図-1）。

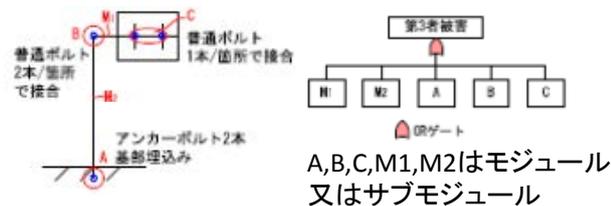


図-1 モデル化の例（逆L型標識柱）

以上でモデル化した標識・照明柱について、FTの頂上事象の発生確率及び信頼性指標 β から現況の第三者被害リスクを試算するとともに、1.の着眼から想定されるリスク低減対策を行った場合を想定した以下のケースの試算を行った。なお、試算にあたっては風荷重と死荷重を考慮し、荷重と強度のばらつきや劣化速度は現実を大きく逸脱しないと考えられる範囲で設定した。また、市場単価を参考にそれぞれのケースに係る費用を算出し、費用対効果も試算した。

- ①耐荷力に関する破壊リスク低減効果の試算
- ②リダンダンシーに関する破壊リスク低減効果の試算
- ③耐久性に関する破壊リスク低減効果の試算
- ④フェールセーフに関する破壊リスク低減効果の試算

例えば②の試算結果（表-1）からは、費用の増加を伴わない対策によっても有意に破壊リスクを低減できる可能性があることが分かった。また、設計において構造比較の対象に挙がらないことも想定される、部品を信頼性が低いものに交換する一方で数を増やす対策もリスク低減の費用対効果が高い可能性があることが分かった。これらの試算結果からは、従来の耐荷力設計のみではリスクの観点からは最適設計とならない可

表-1 試算結果の一例（上記②の試算）

ケース	信頼性指標 β	費用(千円)
基本ケース	2.71	1,142
ボルトの数を増やす	2.77	1,143
ボルトを信頼性が低いものに交換する一方で数を増やす	2.80	1,142

能性があることが示唆される。

なお、時間軸を考慮した試算結果（図-2）を用いることで、例えば点検性を確保した構造とすること及び一定頻度で目視点検を行い必要に応じ措置をとることを前提に、点検時には信頼性が一定水準まで回復するとみなすなど、維持管理と連動して信頼性を制御することも可能であるといえる。

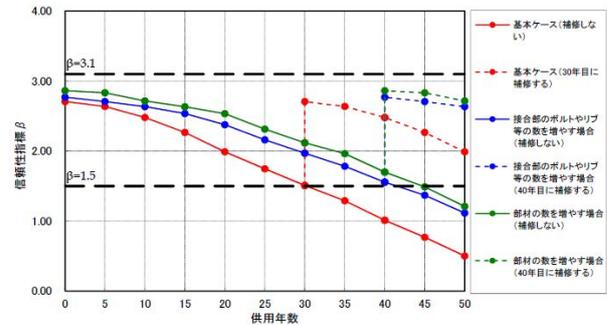


図-2 維持管理と連動した信頼性制御のイメージ

3. 第三者被害防止に着目した構造設計手法の検討

2.の結果から、本研究の方法で信頼性を評価することで、様々なリスク低減対策を行う場合の破壊リスクの相対比較が可能となり、その結果従来の耐荷力設計のみでは導くことができない最適設計や維持管理も考慮した最適信頼性制御施策を見出すことができる可能性がある。

一方、荷重や強度のばらつきや劣化速度には定量的な根拠データが無く、精度良く信頼性を評価するには限界もある。また、必ずしも定量的な試算を行わずとも、作成したFTの特徴から信頼性を定性的に評価し、第三者被害リスクの観点から避けるべき構造を見出すことができると考えられる。例えば、その接合部や部品の破壊がただちに第三者被害を引き起こす場合には、当該箇所に信頼性が制御できない材料が使用されないよう配慮すべきである。

以上を踏まえると、FTを用いて、避けるべき構造を定性的に絞り込むとともに、定性的な評価が困難な場合など必要に応じて信頼性を定量的に評価する体系が、第三者被害防止の観点から合理的と考えられる。

【今後の課題】

道路橋等複雑な構造を有する本体構造物への応用を検討する。また、リダンダンシーの試算上の取扱は単純ではなく、合理的な取扱方法を引き続き検討する必要がある。

【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 the 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 Structures Department

Bridge and Structures Division

主任研究官

Senior Researcher

研究官

Researcher

交流研究員

Guest Research Engineer Mamoru MASAKI

白戸 真大

Masahiro SHIRATO

河野 晴彦

Haruhiko KOUNO

正木 守

室長

Head

研究官

Researcher

交流研究員

Guest Research Engineer Masayuki KUBOTA

玉越 隆史

Takashi TAMAKOSHI

宮原 史

Fumi MIYAHARA

窪田 真之

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

[研究目的及び経緯]

国土技術政策総合研究所では、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、道路橋の技術基準の見直しに必要な検討を進めており、過年度までに部分係数設計法における荷重組合せと各組合せに対応する荷重係数を提案した。提案は、多数の道路橋に対して、常時作用や間欠的な作用の特性をうまく捉え、実際の作用過程をかなり単純化した Borges-Castanheira (B-C) 過程という確率過程に従って荷重を同時載荷し、主要な部材の組合せ断面力 100 年最大値分布(極値分布)を求めた結果に基づくものである。道路橋は、様々な路線条件、環境条件、構造条件に対して設計されるため、多数の橋に対して検討した結果に基づくものではあるが、幅広く一般の橋に適用可能であるかどうかを検証し、信頼性の向上を図る必要がある。

そこで、橋の種類、形式に出来るだけ依存しない荷重組合せと荷重係数の評価法を考え、検証計算を実施し、過年度に提案した荷重組合せと荷重係数の妥当性の検証を行った。

[研究内容及び研究成果]

1. 荷重組合せの計算方法

新たに行うシミュレーションは、B-C 過程に基づき、荷重を同時発生させて、荷重組み合わせのそのものの発生頻度及び荷重組み合わせ毎に含まれる各荷重の規模に関する頻度を調べた。これまでと最も大きく異なるのは、橋の各部の発生断面力の極値統計によらないという点である。シミュレーションは 2 時間を 1 単位

として、荷重同時発生を 100 年間(438000 単位)行い、このシミュレーションを 1000 回繰り返した。各単位で同時載荷される荷重の発生頻度と規模は、過年度までの方法と同様に、各荷重の統計量に基づき決定した。各種荷重の発生単位数と発生過程を表-1、各種荷重の平均値、標準偏差を表-2 に示す。変更した点は以下のとおりである。活荷重については、渋滞の発生単位数を 730~1460 単位まで変化させた複数の種類のシミュレーションを実施した。これは、渋滞の発生回数に応じて、その他の荷重との組み合わせパターンに変化が生じるかを調べるためである。

2. 計算結果

(1) 荷重組合せと荷重係数の検証

渋滞発生時の活荷重と温度の荷重組合せ (D+L+T) に着目した時の現行基準値に対する比率の頻度分布を

表-1 各種荷重の発生単位数

荷重	発生単位数
永続作用	全単位
死荷重(D)	16.7%
活荷重(L)【渋滞時】	(1年間730単位)
温度変化(T)	全単位
変動作用	【強風】0.3%
	(1年間12単位)
風荷重(W)【季節風】	【無風】99.7%
	(強風以外)
風荷重(W)【台風】	0.07%
	(1年間に3単位)
地震(EQ)	0.3%
	(1年間に12単位)

表-2 各種荷重の平均値と標準偏差

荷重	平均値	標準偏差	上限値/下限値
死荷重(D)	1.000	-	-
活荷重(L)【渋滞時】	1.000	-	-
温度変化の影響(T)	20.285℃	8.217℃	5.900℃(下限)
	11.640℃	8.291℃	-2.700℃(下限)
風荷重(W)	0.304	0.065	-
地震の影響(EQ)	0.048	0.048	4.465(上限)

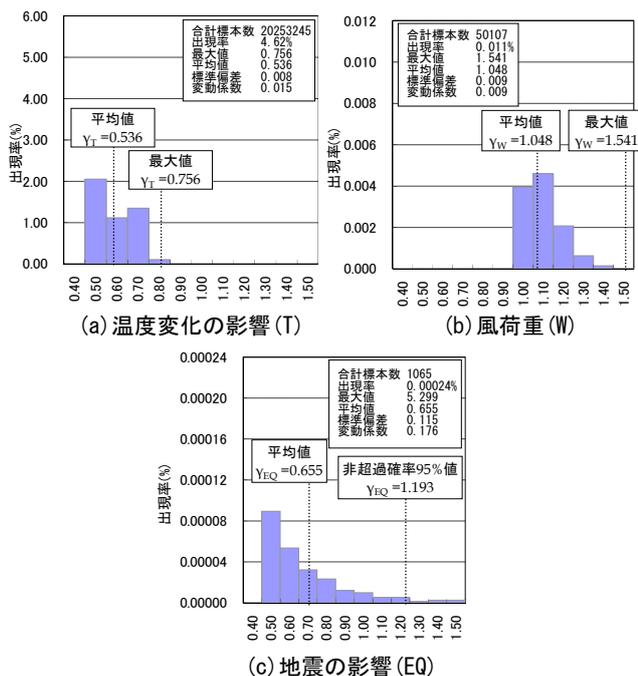


図-1 現行基準値に対する比率の頻度分布

図-1(a)、同様に活荷重と風荷重の荷重組合せ (D+L+W) に着目した場合を図-1(b)に示す。

図-1(a)より、温度荷重係数が0.4以上となるLとTの荷重組合せの出現率は4.62%であった。現行荷重を特性値としたときの温度荷重係数は平均で0.5程度、最大で0.8程度であった。また、図-1(b)より、風荷重係数が0.4以上となるLとWの荷重組合せの出現率は0.011%であり、風係数は平均で1.0程度、最大で1.5程度であった。過年度提案された荷重シミュレーションによって得られる荷重係数は、温度変化の影響を含む荷重組合せ (D+L+T) の温度荷重係数は0.2~0.9、風荷重を含む荷重組合せ (D+L+W) の風荷重係数は1.0~1.4となっており、図-1(a)、(b)の頻度分布から得られた比率の範囲と同様な傾向を示していることを確認した。

活荷重と地震の影響に関する荷重組合せ (D+L+EQ) に着目した時の現行基準値に対する比率の頻度分布を図-1(c)に示す。地震荷重係数が0.4以上となることで整理すると出現率は0.00024%と非常に小さい。D+L+Wの組み合わせと比べてもその出現率はオーダーが異なり、設計実務において荷重組合せにD+L+EQの組合せを含める必要性は高くないと考えられる。

(2) 渋滞発生頻度を变化に伴う荷重組合せの变化

渋滞の1年間の発生単位数を730~1460単位まで変化させてシミュレーションを行い、活荷重と温度の組み合わせにおける温度荷重係数の变化を確認した。

様々な荷重組み合わせの中でも日々発生する荷重の組み合わせである (D+L+T) に着目し、発生頻度を整

表-3 温度変化の影響 (T) との組合せ状況への影響

分類条件	L	T	該当標本数	出現率	その他の荷重出現数	
					W	EQ
1年間に730単位 (1日平均2単位)		$0.4 \leq T$	20,253,245	4.62%	62,044	52,504
1年間に1,095単位 (1日平均3単位)		$0.4 \leq T$	30,012,452	6.85%	90,916	78,714
1年間に1,460単位 (1日平均4単位)		$0.4 \leq T$	38,766,992	8.85%	117,102	102,238

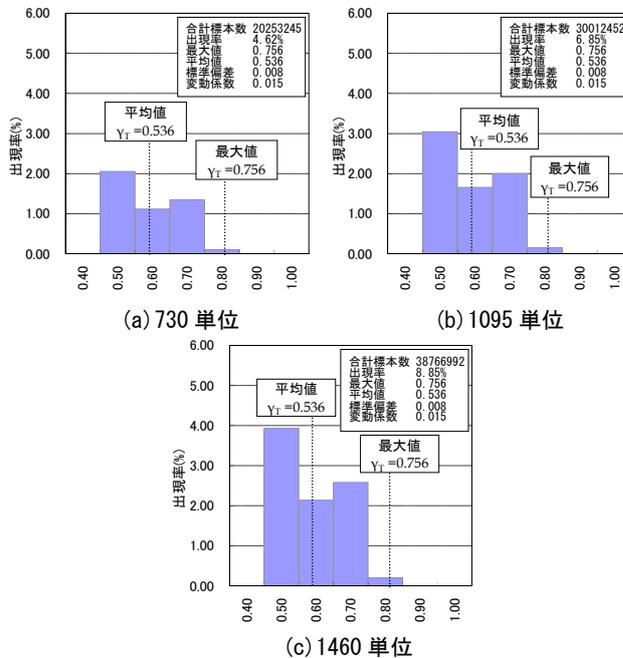


図-2 頻度分布の比較結果

理した結果を図-2に示す。温度荷重係数が0.4以上となったときに限って出現率を調べると、渋滞発生単位数 (活荷重発生頻度) が年730単位の場合は4.62%、年1095単位の場合は6.85%、年1460単位の場合は8.85%であり、渋滞発生単位数が増えるほど出現率は大きくなる結果であった。しかし、活荷重と同時載荷されたときの温度荷重係数値の頻度分布は、渋滞の発生単位を変えても変化は見られず、いずれのケースにおいても平均値は0.536、変動係数は1.5%、最大値は0.756であった。

以上の(1)及び(2)をまとめると、過年度に提案した荷重組み合わせや荷重係数は、設計において考慮すべきであることが確認された。

[今後の課題]

本検討では渋滞発生時の活荷重を確定値として設定したが、活荷重係数は交通流特性 (大型車混入率) によって変動することも確認されている。今後、活荷重係数と交通流特性の関係を検証し、大型車の通行頻度に応じた活荷重係数の設定が必要である。

[成果の活用]

道路橋示方書等、技術基準改定のための基礎資料として活用する予定である。

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 practical design norms for the strength and durability of bridges refined structural computation
(研究期間 平成 26~28 年度)

道路構造物研究部 橋梁研究室

Road Structures Department

Bridge and Structures Division

主任研究官 白戸 真大
Senior Researcher Masahiro SHIRATO
研究官 河野 晴彦
Researcher Haruhiko KOUNO

室長

Head

研究官

Researcher

交流研究員

Guest Research Engineer Mamoru MASAKI

玉越 隆史

Takashi TAMAKOSHI

宮原 史

Fumi MIYAHARA

正木 守

Stronger reinforcement and concrete are developed to reduce the cost of high piers and refined design models are expected to understand the detailed limit states of RC columns that have different structural performance with materials used and the slenderness. This year, a new computation model have been sought for the moment-curvature relationship of RC columns. In comparison with experimental results, the proposed model can express five limit states relevantly accurately overall and sometimes on a safer side.

[研究目的及び経緯]

道路橋の設計や施工において、高強度材料の検討例が増えつつある。道路橋示方書においてもこのような高強度材料の適用拡大が図られているが、実験的に部材としての性能が検証された範囲で適用条件が課せられている。そこでの適用範囲を超える条件となる場合には、その都度実験等によって性能を評価することが必要とされる。これらに対して、合理的な設計基準を確立するためには、実験的手法だけに頼ることなく構造物の各種限界状態やコンクリートの応力状態について精度よく推定できる高度な構造解析手法の確立が求められる。

本研究では、高強度鉄筋を使用した RC 構造の交番載荷実験結果に対して、様々な解析手法により再現解析を行うことで、各種損傷が発生する水平力と水平変位を精度よく推定できる解析手法を検討した。

[研究内容及び研究成果]

1. 検討対象と解析手法

本検討では過年度に国土技術政策総合研究所や土木研究所が実施した RC 構造の正負交番載荷実験結果のうち、RC 橋脚 10 基、ボックスカルバート 1 基、組杭基礎 1 基を対象とした。RC 橋脚 10 基中、2 基について軸方向鉄筋に USD685、7 基について SD490 を使用し、SD490 を使用した RC 橋脚のうち 1 基は円形の橋脚である。交番載荷実験方法は、軸方向鉄筋の降伏

時の水平変位を基準変位 (δy) として、載荷変位を $\pm n \delta y$ ($n=1, 2, 3, \dots$) とした変位振幅を各 3 サイクルずつ与える方法とした。

再現解析については、道路橋示方書 V 耐震設計編において耐震設計上の限界状態とされている「かぶりコンクリート剥落時」以降の損傷状態も捉えることができるように、コンクリートと鉄筋の応力-ひずみ関係やコンクリートの圧縮応力状態等をモデル化し、ファイバーモデル、M- ϕ モデル、格子モデルの解析手法を用いて検討した。

2. 検討結果

各種解析手法を用いた検討結果のうち、国総研が提案する構造解析モデルでの検討結果を示す。

(1) 国総研提案構造解析モデル

国総研の提案する M- ϕ モデル (以下、提案モデル)

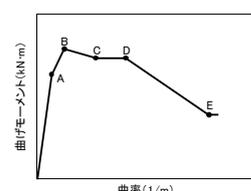


図-1 提案モデルの損傷過程の定義

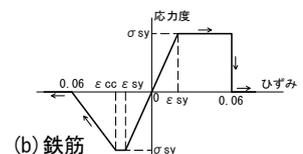
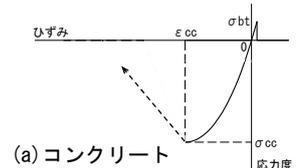


図-2 応力-ひずみ関係

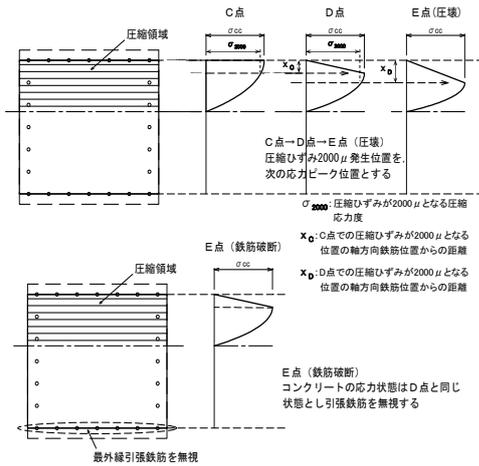


図-3 点C～Eの応力ブロック

は、部材の損傷過程を特徴づける損傷状態をできるだけ直接的に反映しようとするものであり、図-1の点A～Eで定義する損傷過程の(M、 ϕ)をそれぞれ算出し、多段の折れ線にて表すモデルとした。M- ϕ 関係を算出するためのコンクリートと鉄筋の応力-ひずみ関係(図-2)も、点A～Eの状態を捉えられるように工夫した。また、RC構造ではコンクリートの有効断面の損傷度が健全性に影響するため、M- ϕ 関係上の点C～Eの損傷に対応するコンクリート有効断面等を直接的に再現出来るようなM- ϕ 関係の算出法(図-3)を用いた。

(2) 再現性の評価

水平力-変位関係と提案モデルで定義した点B～Eについて、実験結果と計算結果を比較した結果を図-4に示す。A-1～A-3は軸方向鉄筋にSD490を使用し、柱基部の軸圧縮応力度を1.0、2.5、3.5N/mm²に変化させた。B-1は軸方向鉄筋にUSD685を使用し、軸圧縮応力度は1.0N/mm²とした。実験値は実験で得られた水平力-水平変位関係の履歴ループの包絡線で表し、点B～Eも実験で確認されたタイミングを水平力-変位曲線上にプロットした。なお、実験ではコアコンクリートの損傷のタイミングを目視観察することは難しいが、できるだけ観察した結果を反映するとともに、水平方向鉄筋のフックの外れなどの損傷もコアコンクリートの損傷開始時とみなした。それでも供試体A-2、B-1では、その状態の発生点を求められなかった。

本検討では、提案M- ϕ 関係による供試体状態の再現性の有無を、解析値の実験値に対する安全率(実験値/解析値)の数値とばらつきによって判断する。安全率が1.0よりも大きく安全側の評価であり、また、ばらつきが一定程度に収まれば再現性は高いと言える。安全率の算出結果を表-1に示す。提案モデルは、何れの供試体でも各損傷状態、すなわち点B～Eの水平力・水平変位座標をほぼ全ての点で安全側に再現でき

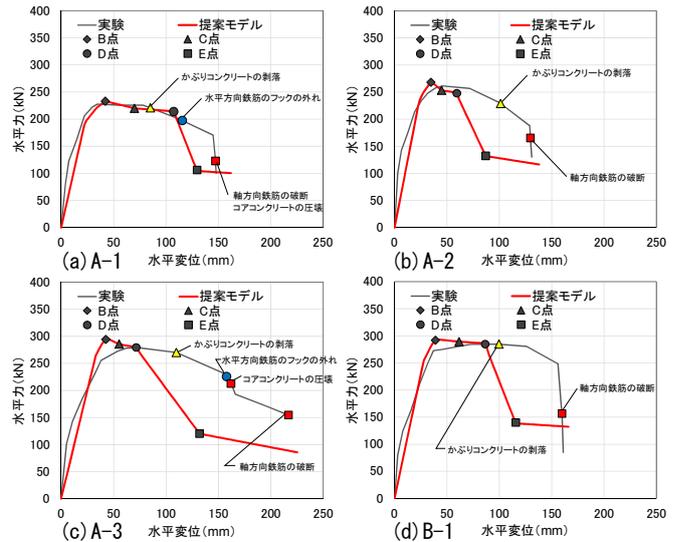


図-4 水平力-水平変位関係

表-1 各損傷状態の実験値に対する安全率

記号	損傷状態	水平力			水平変位			備考		
		A-1	A-2	A-3	B-1	A-1	A-2		A-3	
B	最大水平力時	1.01	1.03	1.07	1.04	0.97	1.33	1.74	1.96	満示耐震性能3の限界状態に相当
C	かぶりコンクリート剥落時	1.00	0.90	1.07	0.98	1.22	2.25	2.45	1.62	
D	コアコンクリートの損傷開始時	0.92	-	0.91	-	-	-	-	2.66	水平力低下開始点
E	軸方向引張鉄筋破断時	1.16	1.25	1.17	1.12	1.14	1.49	2.49	1.38	

た。水平変位についての安全率は0.97～2.66でありばらつきは供試体によって異なった。軸方向鉄筋にUSD685を使用したB-1の水平変位の安全率のばらつき(1.38～1.96)は、SD490を使用したA-1(0.97～1.22)に比べて大きかった。より高強度の鉄筋を使用する場合、引張応力を受ける鉄筋降伏後の応力-ひずみ関係のモデル化に工夫が必要な可能性がある。軸圧縮応力度を1.0N/mm²としたA-1の水平変位の安全率は0.97～1.22であり、1.0に近い範囲であったが、軸圧縮応力度が2.5N/mm²のA-2、3.5N/mm²のA-3については、軸圧縮応力度が大きくなるほど精度は悪くなるが、安全率は大きくなる方向であった。

以上のように、本検討で用いた構造解析モデルを用いることで、破壊過程を特徴付ける損傷状態を直接的に評価するにあたって、条件によらず水平力、水平変位の両者ともに常に一定の幅で安全側(過小側)に評価できる可能性が示唆された。これは、地震時保有水平耐力法による耐震設計にて必要な安全率を設定する際に扱いやすいことが期待される。

【今後の課題】

柱基部軸圧縮応力度が特に大きい場合では現状のコンクリートの応力-ひずみ関係そのものの適用性に問題があることも考えられるため検討が必要である。

【成果の発表】

各種論文で発表予定である。

【成果の活用】

設計基準等への反映の基礎資料とする。

部材連結部の損傷制御及び信頼性に関する調査検討

Study on the damage control reliability of bridge joint fastened with bolts

(研究期間 平成 27-29 年度)

道路構造物研究部 橋梁研究室

Road Structures Department

Bridge and Structures Division

主任研究官 白戸 真大

Senior Researcher Masahiro Shirato

研究官 河野 晴彦

Researcher Haruhiko Kouno

交流研究員 窪田 真之

Guest Research Engineer Masayuki Kubota

室長

Head

研究官

Researcher

研究員

Research Engineer

玉越 隆史

Takashi Tamakoshi

宮原 史

Fumi Miyahara

岡田 紗也加

Sayaka Okada

Road bridges were damaged by the fatigue because of heavy traffic these days. Since many cracks are found at welds caused by this large traffic volume, many workers would plan to stiffen damaged area by using stiffening plate. It seems that this method is rational, but actually, the members are not always flat, and, if not, they cannot fit plates at damaged parts because they cannot put the bolts there. Sometimes pipes shaped members are damaged and these pipes would be stiffened by using single-sided construction bolt because the workers cannot reach there though there are less study about the stiffening effect of this case. For this reason, the authors studied on the effect of stiffening plate method for pipes fastened with single-sided construction bolt.

[研究目的及び経緯]

近年、交通量の増加に伴い、鋼橋の溶接部からの部材への疲労亀裂の進行が報告されている。疲労亀裂が生じた部材の補強方法としては、当て板補強が挙げられる。当て板補強では、高力ボルトで締め付けた添接板に摩擦により応力が伝達されることから補強効果を得る。

しかし、既設構造への補強では、作業者が部材の裏側に行くことが出来ない場合や手を締付箇所まで伸ばせないなどの構造上の制約を受ける場合などに直面することある。このような問題に対しては、片面から施工できる特殊なボルトが使用されることがあり、平面の部材には実績もある。

しかし管部材に当て板補強を行う場合もあるが、管部材は、その形状が曲面形状であるため、補強効果を得るためには、板同士が接触しており、ボルト締め付後に、ワッシャーやナットが部材に対して反力をとれ、ボルトに所定の軸力が導入されている必要があり、平面部材と同様に曲面部材にも一定の軸力が導入されている必要がある。

このような懸念項目に対して、曲面状の管部材に対して当て板補強を行う際のこの補強効果を明らかにすることとした。

本研究は疲労亀裂の生じた管部材への当て板補強

を想定し、その補強効果を検証するものである。



写真1 管部材に生じた疲労亀裂

[研究内容]

本研究では、疲労亀裂が生じた管部材に対し、当て板補強をする場合を模擬し、部材を連結板で接続し片面施工ボルトにて締め付けたケースにおいてすべり試験を実施する。

(1) 試験体、塗装仕様

本研究では、図1に示すような管部材への当て板補強を想定して、図2に示す管部材 $t=9.3\text{mm}$ 、 $\Phi 267$ (STK400) と図3に示す連結板 $t=22\text{mm}$ (SS400)、平板部材 $t=12\text{mm}$ (SS400) を製作した。管部材と平板でのすべり試験を実施する理由は、ボルトの差異により軸力が低減されないか、試験体形状によってすべり係数が変化するか確認することを目的としている。今年度は平板すべり試験を実施した。当て板部材およ

び部材にはブラストによる1種ケレン、無機ジンクリッチペイントによる塗装をしている。

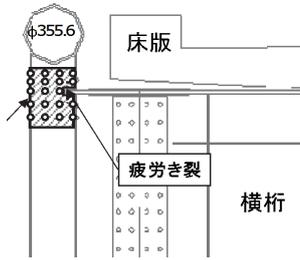


図1 管部材の当て板補強

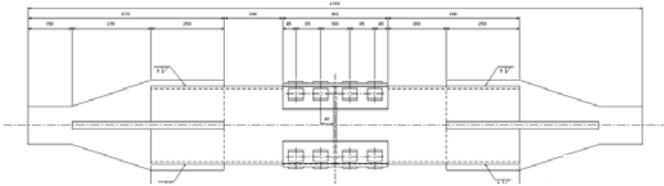


図2 管部材を模擬した試験体

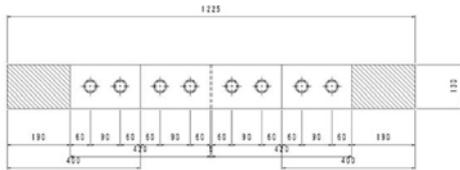


図3 平板試験体

(2)感圧紙による接触厚測定と考察

写真2は感圧紙(50~130MPa)による接触厚測定状況を示す。感圧紙は接触していた箇所には赤色の模様が生じる仕組みとなっている。感圧紙を挿入した状態で組立てを行い、供試体を分解して感圧紙を取り除き、接触圧を記録後、新しいボルトで再度組立てるものとしている。これより感圧紙によると座金形状範囲の圧力の影響範囲がわかる。写真3(左)をみると曲面部材では、写真3(右)に示す別途実施した平面部材の感圧試験結果と比較し、孔周りに均等な圧力がかかっておらず接触圧が偏っていると推定される跡が残っていることがわかる。曲面形状の当て板を行い、母材と肌隙が大きく生じているのであれば、孔周りに圧力が

生じた痕跡は残らない。曲面座金と当て板の間に一部肌隙が生じている可能性があるため、赤色模様が均等でないと考えられる。そのため、曲面座金と当て板と母材に生じる肌隙の可能性を考える必要がある。

肌隙が生じてても当て板の補強効果がなくなるわけではない。例えば、高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案)では、肌隙1mm程度であればすべり耐力低減を見込めばよいといった、肌隙が生じることを想定した上ですべり耐力を確保する研究も紹介している。



写真2 感圧紙による接触圧測定

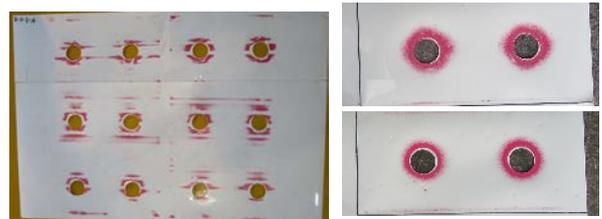


写真3 曲面と平面部材に対する接触圧の差異

(3)平板すべり試験結果

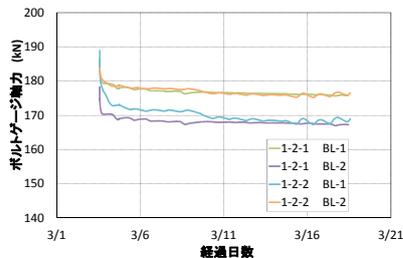


図4 ボルト軸力(F10T)

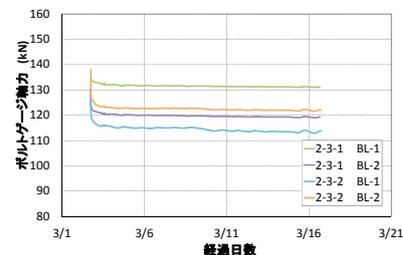


図5 片面施工ボルト軸力
[成果の活用]

F10Tと片面施工ボルトのすべり試験を実施した。双方ともすべり係数0.4を満足した。しかし片面施工ボルトの軸力保持はF10Tに比べて低く、ばらつくことがわかった(図4、図5)。

片面施工ボルトを管部材に適用すると、接触圧は均等に作用しないが、当て板と母材との摩擦(すべり係数)が確保されていることを今後確認し、補強方法を確立していく。

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 underground structures

(研究期間 平成 26 年度～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	間渕 利明
Head	Toshiaki MABUCHI
主任研究官	西田 秀明
Senior Researcher	Hideaki NISHIDA
主任研究官	高木 繁
Senior Researcher	Shigeru TAKAGI
研究官	西藤 淳
Researcher	Jun NISHIFUJI

The Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism is progressing with the formulation of design criteria that meet the performance requirements of roads. Technical criteria for road earthworks were introduced in 2015, and clarified the performance requirements for road earthworks. NILIM investigate the technical conditions that meet the performance requirements for road earthworks. This research will examine the design conditions and methods required for designs that meet the performance requirements for underground structures (culverts, retaining walls, etc.).

[研究目的及び経緯]

本研究は、道路構造物のうち、土中構造物(カルバート、抗土圧を主目的とした擁壁、シェッド等)を対象として要求性能に対応した技術基準の整備のために必要となる設計条件や手法等に関する各種課題を明らかにすることを目的としている。

本年度は、カルバート、擁壁、シェッドを対象に、平成 27 年に制定された道路土工構造物技術基準で規定される要求性能に対応した設計に必要な設計条件・手法について検討した。具体には地震時における荷重モデルや評価法が構造諸元や応答特性に与える影響の分析、ボックスカルバートにおける耐震評価法の適用性の検証、土被り厚の小さいカルバートにおける活荷重の影響把握である。また、従来から多く用いられている構造・材料とは異なる特徴を有する土中構造物について事例収集及びその設計法等の整理を行った。

[研究内容及び成果]

1. ボックスカルバートの設計法に関する検討

(1) ボックスカルバートの耐震性評価法の適用性に関する検討

大規模地震時におけるボックスカルバート（以下、カルバート）の耐震性評価を解析に基づき行うため、適用範囲や適用条件が明らかである解析方法の確立が必要である。このため過年度より、考慮する性能状態までの範

囲で設計上確実に安全側の評価を行うカルバートに生じる最大応答せん断ひずみ（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）で評価する方法を検討している。

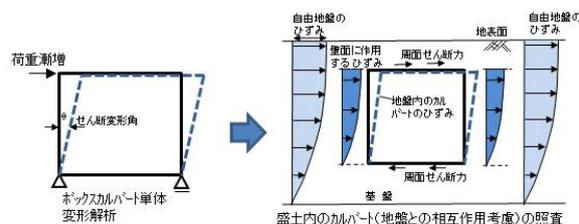


図-1 カルバートと地盤相互のひずみ評価

具体には、次の2つのアプローチで導出されるカルバート全体のせん断剛性-せん断ひずみ関係から、両者のせん断剛性・せん断ひずみがそれぞれ等しくなる時のせん断ひずみを最大応答せん断ひずみとする方法である。

- 1) カルバート本体に作用する水平荷重と層間変形角の関係から導出 (図-1 左)
- 2) 地盤・カルバート間のせん断剛性の違いを考慮したひずみ伝達特性式と、別途地震応答解析により求めた地盤に生じるせん断ひずみ・地盤剛性から導出 (図-1 右)

本年度は、主に土被り厚が小さいカルバートの適用性の検証を中心に検討を行った。解析は、様々な地盤上 (I

種、Ⅱ種、Ⅲ種地盤)の盛土内 ($V_s=150\text{m/s}$, $\gamma=18\text{kN/m}^3$)に設置されたカルバートを想定し、土被り厚、函体の内空幅・高をパラメータとし、強い地震動を受けた場合の盛土地盤の応答変形、並びにカルバート・地盤の相互作用を考慮したカルバートの最大応答せん断ひずみを試算した。

その結果として荷重(せん断応力)～せん断変形角(せん断ひずみ)、相互作用を考慮したカルバート函体のせん断剛性変化(傾き)の一例を示す(図-2)。

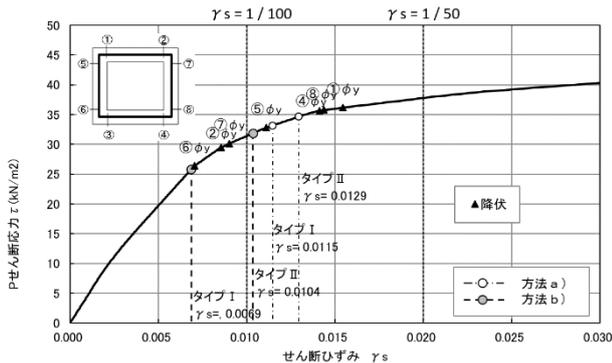


図-2 カルバート～地盤の相互作用を考慮した応答解析結果

ここで、地盤のせん断ひずみをカルバートのせん断ひずみに換算する際に、a)頂版と底版位置におけるひずみのみから算出した場合、とb)頂版と底版との間を深さ方向に層間分割し分割

深さ毎にカルバートのせん断ひずみを算出した場合、の2ケースを試算した。このうちb)のケースを試算したのは、土被り厚

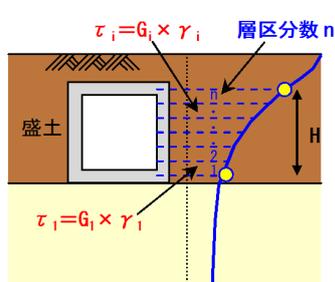


図-3 せん断ひずみの層間分割

が小さい範囲では深さ方向に対する地盤ひずみ増分の変化量が大きい為、a)のように上下端のみのひずみに着目したのでは、カルバートの変形を大きく見積もることの影響が大きいのである。

この結果、b)の方法により応答値が小さくなり、多くの試算ケースでは過年度の検討で目安とした構造安全性の限界(6/300)を下回った。この傾向は、実際の構造物で土被り厚が小さいカルバートで地震時の損傷事例が必ずしも多くないことも符合しており実状を反映した結果となっていると考えられる。なお、「道路土工-カルバート工指針(H22)」で、地震時に対する計算による照査を省略してよいこととされている一定規模以下のカルバートを対象に本評価法により試算した場合も、上記と同様に概ね構造安全性の目安を下回る結果となった。

(2) ボックスカルバート頂版に対する土被り厚の影響検討

土被り厚が小さいカルバートでは、上部道路からの活荷重の影響がカルバート上載土による荷重に対して相対的に大きいと考えられるため、頂版の設計の際にこの影響を別途考慮する必要があることが考えられる。そこで、土被り厚が小さい場合のカルバートの設計における活荷重の影響の評価方法を検討するため、既往文献の収集、および土被り内部での分散効果の解析を行った。舗装内部での分散効果に関する解析は、土被り厚や材料物性値を変えた2次元弾性FEMにより実施した。図-4に解析結果のコンター図(鉛直応力度)の一例を示し、図-5には、土被り厚と頂版上面位置での最大鉛直応力度との関係を示す。

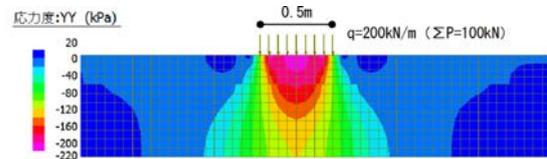


図-4 土被り内での応力度コンター図(2次元FEMによる)

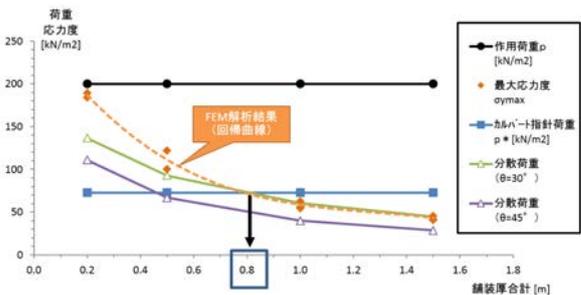


図-5 土被り厚とカルバート頂版上の最大応力度の変化

土被り厚が大きくなると、分散が進み頂版上に生じる最大鉛直応力度が低減することが判る。特に舗装厚が0.8mを超える程度となると、最大荷重は、カルバート工指針で用いられている単位幅あたりの活荷重以下の状態になる結果となった。

2. 抗土圧構造物の設計法に関する事例収集

従来の設計手法と異なる擁壁の構造形式や新しい材料を用いた擁壁の設計手法について、『荷重条件と評価方法』(常時・地震時における設計・施工時の土圧の種類と大きさ、載荷重、衝撃等)、『構造諸元決定要因』、『照査項目・手法』(設計モデル・算定方法)の収集整理を行った。

【今後の課題と成果の反映】

カルバート以外の道路土工構造物についても同様に、要求性能に対する設計法の確立のために、荷重等の設計条件や手法等に関する課題の検討が必要である。これらの検討成果は、道路土工構造物技術基準に定められた要求性能に対応した設計法として活用されることが期待される。

道路トンネルの要求性能及び維持管理に関する調査検討

Study on required performance and maintenance of road tunnel

(研究期間 平成 27～29 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
主任研究官
Senior Researcher

間渕 利明
Toshiaki MABUCHI
稲本 義昌
Yoshiaki INAMOTO
高木 繁
Shigeru TAKAGI

In this study, efficiency and simplification of inspection method of the road tunnel, the development of design criteria of the evaluation of the concrete as well as the new performance of the road tunnel lining design of the way of the tunnel inspection of non- mountain tunnel, the road tunnel to the strange shape investigation for the purpose of development of selection methods and design methods of repair and reinforcement design, are studied.

[研究目的及び経緯]

本研究は、道路トンネルの点検方法の効率化や簡素化、並びに新設道路トンネル覆工設計の性能を評価した設計基準の策定、道路トンネルの変状に対する補修・補強設計の選定方法や設計手法の策定を目的に調査、検討を行っている。

本年度は、直轄国道の道路トンネル定期点検結果の分析を行い、現状の点検手法の課題抽出と改善方法を検討した。また、新設道路トンネル覆工設計への限界状態設計法の適用性に関する検討や、覆工設計に用いる荷重の検討（設計の妥当性検証の為に応力等の詳細な計測を行っているB計測の結果を用いてFEM解析、フレーム解析、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の算定）を実施したものである。

[研究の内容]

1. 道路トンネル点検結果の分析

平成 26 年度に定期点検を実施した直轄国道の 403 トンネルについて、トンネルのスパン毎の判定区分を変状内容、経過年数別で整理した（図-1、図-2）。

変状区分別では、周辺地盤からの「外力」と考えられるものが両工法ともほとんどがⅡb、Ⅰがで、材質劣化では矢板工法で対策を必要とするⅡa以上が約40%を占めており、漏水判定ではNATM工法でⅠがほとんどである。

総合判定は、両工法ともに材質劣化の判定に影響を受けている傾向がある。

経年年数別では、年数が長くなるにしたがい、判定

区分が悪くなる傾向がある。これは、変状区分別の総合判定が材質劣化の判定に影響していることから、経年劣化による影響であると考えられる。

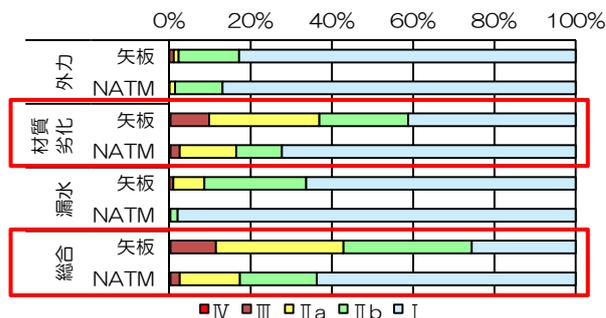


図-1 変状区分別のスパン判定割合

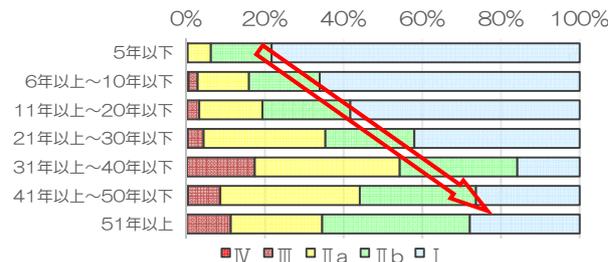


図-2 経過年数別のスパン判定割合

2. 道路トンネル覆工設計への限界状態設計法の適用性に関する検討

トンネル覆工の設計について、地盤条件（変形係数）、荷重条件（側圧係数）を変化させて、限界状態設計法と許容応力度法による設計の違いを明確にするための検討を行った。

各ケースの解析結果から限界荷重比（土荷重高さH / トンネル幅D）を算出した（図-3）。

設計法の違いによる限界荷重比は、許容応力度法と使用限界状態が同レベルで、終局限界状態では、許容応力度法の2~2.5倍の荷重に耐える結果となった。

側圧係数や地盤反力の違いによっても限界荷重が大きく変化するため、荷重や地盤定数に対する安全係数の設定時には留意する必要がある。

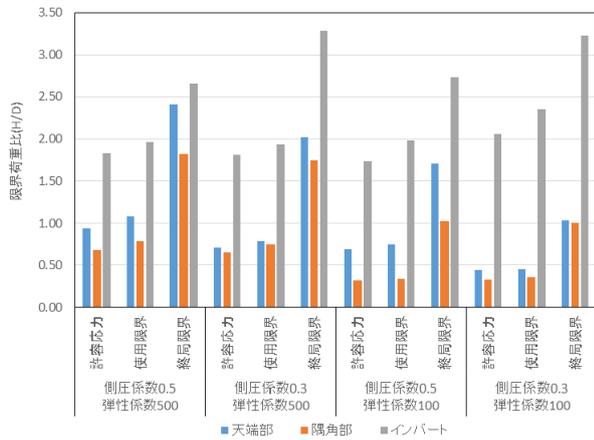


図-3 設計法と限界荷重比

また、今回の検討ケースでは、限界状態設計法の安全係数のうち材料係数が最も設計結果に影響を及ぼすことが確認できた。(図-4)

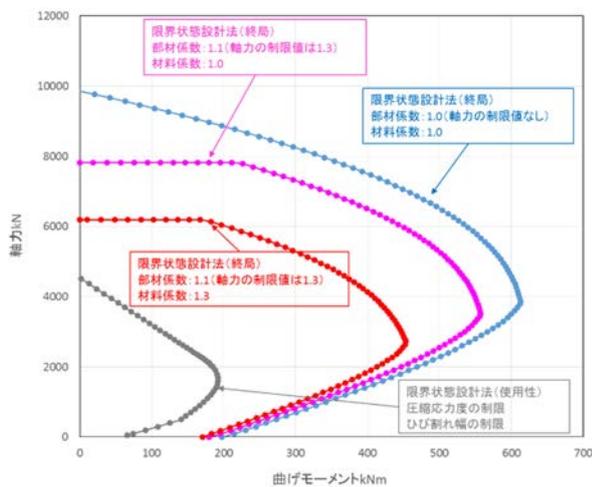


図-4 安全係数の影響

3. 道路トンネルの覆工設計に用いる荷重の検討

覆工の設計に用いる荷重の検討のため、実際に施工したトンネルのB計測結果を用いて、FEM解析、フレーム解析、釣り合い計算で支保工に作用する荷重を算定した。

今回の検討では、土被りが小さい場合全土被り荷重に近い場合もあり、土被りが深くなるに連れて全土被り荷重は作用していないことが確認できた(図-5)。

それぞれの断面の全土被りとB計測値を用いた釣り合い計算の換算高さ、フレーム解析値の土被り、FEM解析値の換算高さの関係を示している。(高さを断面

幅で除し、無次元化している)。(図-6)

近似線を比較すると、釣り合い計算に比べてFEM解析の換算高さは非常に大きく、フレーム解析の換算高さは同レベルであることがわかる。

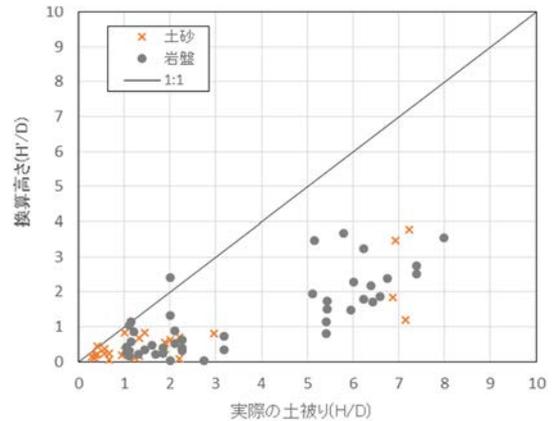


図-5 土被りと土圧換算高さ

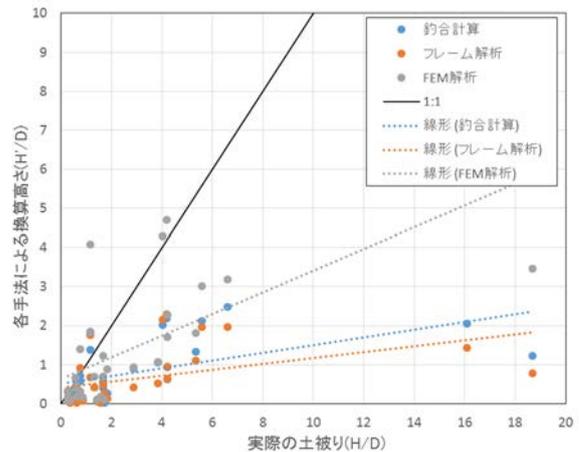


図-6 無次元化した土被りと換算高さ

[今後の課題]

道路トンネルの覆工設計に対する限界状態設計法の適用について、山岳トンネル特有の部材巻厚の変動やコンクリート打設時の環境による強度など、不確実性に対する安全率設定のための検討が必要である。

また、覆工設計に用いる荷重の検討から得られた支保工に作用している荷重が長期的に変動しないか、施工時の支保工の品質管理に留意し、覆工設計に使用する荷重を検討する必要がある。

[成果の発表]

各種論文等で発表予定である。

[成果の活用]

道路トンネル技術基準見直し、道路トンネル定期点検要領の改定へ反映させる。

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
Head
主任研究官
Senior Researcher
研究官
Researcher

藪 雅行
Masayuki Yabu
谷川 征嗣
Masatsugu Tanigawa
榎本 忠夫
Tadao Enomoto

The objective of this study is to establish the framework of the performance based design method for earth structures. In the second fiscal year, using in total 98 examples of road embankments and retaining walls with and without earthquake-induced damage in the past, and also those 11 cases from dynamic centrifuge model tests, a comparison between their seismic performances, which were evaluated along the current design guide book, and the actual degree of damage was conducted.

[研究目的及び経緯]

盛土等の土工構造物の地震被害が依然として多く、また、耐震性照査結果と実際の被災程度の関係性はよく分かっていない。そこで、平成 27 年度は、計 98 断面の被災・無被災事例、計 31 ケースの遠心模型実験結果を用い、現行の道路土工—盛土工指針、擁壁工指針に示された耐震性照査法による照査結果と実事例・模型実験における被災程度に関連性について検討した。

[研究内容及び研究成果]

表 1 に示す 4 つの地震を対象に被災・無被災事例を収集し、現地断面、土質条件、被災状況、推定最大加速度、地盤調査の有無等を整理した。

これらの事例のうち東北地方太平洋沖地震における盛土については、8 箇所(被災箇所 5 箇所、無被災箇所 3 箇所)でブロックサンプリング法による不攪乱試料、1 箇所で攪乱試料のみを採取するとともに、簡易動的コーン貫入試験、現場密度試験を実施した(計 9 箇所)。採取した試料に対して、三軸試験等の室内土質試験を実施した。次に、震度法およびニューマーク法による耐震照査を行い、得られた結果について分析した。

1. 室内土質試験結果及び原位置試験との関連性

1.1 土質試験結果

不攪乱試料はネイルサンプリング法により、 ϕ

170mm、h150mm の試料を採取した。採取場所は法肩付近または小段などで、採取深さは 50cm～100cm である。土質試験の結果を表 2 に示す。

表 1 被災事例等の整理結果一覧表

地震名	発生年	事例の主な場所	検討地点の最大加速度(gal)	断面数	
				盛土	擁壁
東北地方太平洋沖地震	2011年	岩手、宮城、福島 (R4、R6、R45、R49)	165～1335.4	63	7
能登半島地震	2007年	石川 (能登有料道路)	902.7～945.4	20	0
新潟県中越地震	2004年	新潟 (R8、R17)	153.1～840.7	3	4
兵庫県南部地震	1995年	兵庫 (第二神明道路)	686.83	1	0
合計				87	11

表 2 土質試験結果(東北地方太平洋沖地震の事例)

調査箇所	換算N値		乾燥密度		一軸圧縮		三軸圧縮(CD)		三軸圧縮(CUB)			
	N2	ρ_{dmax}	供試体	q_u	c_d	ϕ_d	c_{cu}	ϕ_{cu}	c'	ϕ'		
R4-207.60	4.1	1.562	1.510	109.9	8.0	32.6	8.0	15.8	0	28.3		
R4-207.65	3.9	1.597	1.381	41.9	0	32.5	0	11.8	0	23.0		
R4-266.21	2.7	1.286	1.099	-	0	33.5	0	14.3	0	30.5		
R4-266.23	3.0	1.276	1.188	-	4.0	34.8	5.0	13.5	0	30.9		
R6-313.07	12.5	1.726	1.607	-	5.0	35.2	61.0	13.6	0	34.3		
R6-313.25	6.5	1.69	1.510	-	8.0	32.5	46.0	13.9	2.0	33.0		
R6-295.80	3.7	1.429	1.405	-	11.0	35.7	26.0	21.5	3.0	35.1		
R49-120.17	3.2	1.516	1.323	39.5	5.0	32.7	8.0	18.2	0	34.3		
R49-95.26		1.624				8.0	34.0					

1.2 原位置試験結果との関連性について

動的コーン貫入試験の Nd 値から換算 N 値(=Nd/2)を求め、その平均値と今回実施した土質試験結果との関係を図 1 に示す。粘着力 c は換算 N 値<5 の範囲で正の相関がみられる。内部摩擦角 ϕ と N 値の相関はほ

とんど見られないが、これは一般的な傾向と思われる。

図2は例として R6-313.25 断面の Nd 値の分布である。深さ 5m 程度の調査範囲内では深度方向に増大する傾向はみられない。したがって、盛土内の深度方向の地盤強度の分布としては概ね一定値であると考えてよいと思われる。

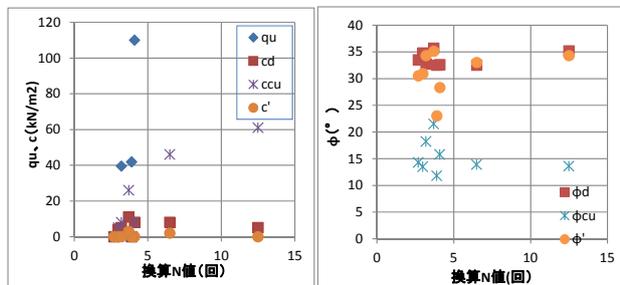


図1 換算 N 値と強度の相関

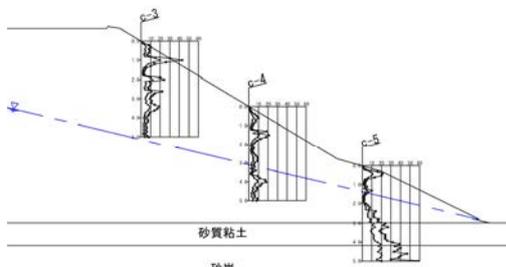


図2 R6-313.25 (無被害) の Nd 値の深度分布

2. 耐震性照査結果

2.1 土質定数の設定

東北地方太平洋沖地震に関する事例では、地域を表2に示すそれぞれの事例を含む複数のエリアに分割し、当該エリア内ではその事例の三軸 CD による土質定数を用いた。能登半島地震では土質試験 (CUB) が行われていたため、この結果を重視した。また、過年度成果より N 値データがある断面においては N 値から推定した。その他は表2に示した土質定数の平均値とした。模型実験に関しては、使用材料に対して実施した CD 試験結果による土質定数を用いた。

2.2 盛土の耐震性照査結果

図3は、盛土に関する事例解析ならびに模型実験解析による L2 地震時 F_s と NM 法による変位量の関係を示したものである。 $F_s < 1.0$ の範囲で急激に変位量が増大する。

図4は、最大加速度と限界水平震度の関係を示したものである。同図の黒ラインは、道路土工盛土工指針に示されている最大加速度 800gal 程度のレベル2地震動に対応する水平震度は 0.2 程度で良いと考えられている根拠にしているラインである。ラインは概ね閾値になっていると判断される。しかし、このラインより上側にプロットされる大被害 (赤色) の事例もあり、今後精査が必要である。

2.3 擁壁の耐震性照査結果

図5は、擁壁の転倒に対する限界水平震度と最大加速度および被災程度の関係を示したものである。道路土工擁壁工指針に示される $d_s/H=5\%$ の点線ラインは概ね妥当であると判断される。

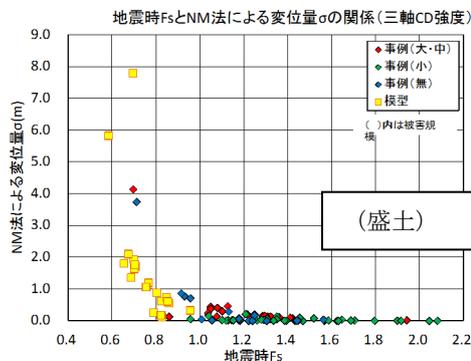


図3 L2 地震時 F_s と NM 法による変位量の関係

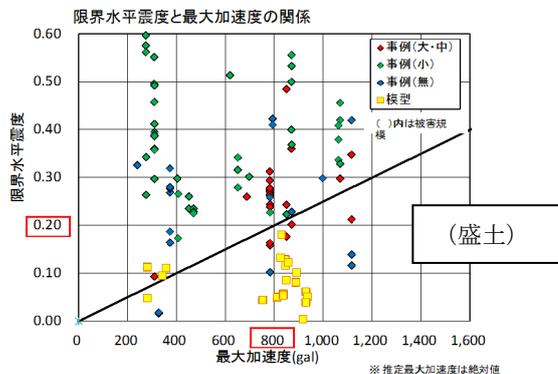


図4 限界水平震度と最大加速度及び被災度の関係

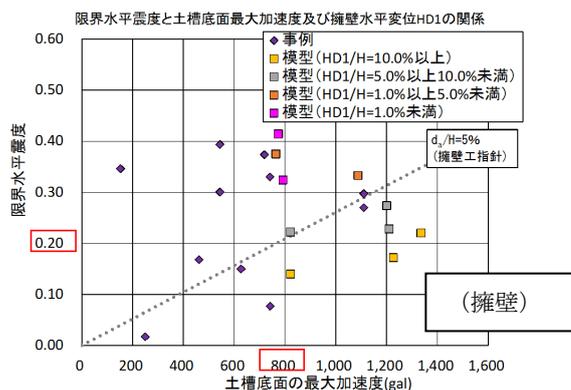


図5 限界水平震度と最大加速度及び被災度の関係

3. まとめ

例えば最大加速度 800gal 以上となるような大規模地震に対しては水平震度を 0.2 程度に設定すれば、盛土や擁壁の有害な変位以内に収まる結果が得られた。

【成果の発表】 第51回地盤工学研究発表会に論文投稿済み。

【成果の活用】 道路土工指針類に反映予定。

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 which point to be paid attention in the case of designing and building the concrete pavement in recent years. The author put document acquisition and hearing survey into effect to administrators who built concrete pavement in recent years. The result of the watch check was compared with IRI measured in this research. The author grasped a maintenance of a concrete pavement in order to grasp application properties of IRI (international roughness index) as management index.

〔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、日本国内で近年施工されたコンクリート舗装の実態調査を行い、コンクリート舗装の設計施工時の工夫等について検討するとともに、道路管理者からの資料収集及びヒアリングを行うことにより、コンクリート舗装の維持管理における留意点等について検討した。また、併せてIRI（国際ラフネス指数）の、日常的な管理指標としての適用性を検討した。

〔研究内容及び成果〕

1. コンクリート舗装の実態調査

概ね5年以内にコンクリート舗装の新設工事を実施した直轄国道のうち20区間（総延長：約26.5km）において、道路管理者及び施工業者へのヒアリング及び資料収集を実施し、併せて該当区間について現地踏査及び写真撮影を行った。

現地踏査では、コンクリート版の損傷を目視観察し記録するとともに、路面状態の写真撮影を行った。現地踏査が出来ない区間（直轄高速道路等）については、調査車両に設置したビデオカメラを用いて、路面状態を観察した。収集した情報と現地踏査の結果を踏

まえ、図-1のように整理した。調査箇所は新設施工区間であり、施工不良等による大きな損傷はみられなかった。しかし多くの箇所、施工後1年程度での早期の目地材飛散、目地材剥がれが確認され、道路管理事務所ではこれを問題点として認識していることがわかった。また連続鉄筋コンクリート舗装箇所での横びび割れは、構造的な特性であり損傷ではないが、これを問題点と認識している道路管理事務所もあった。

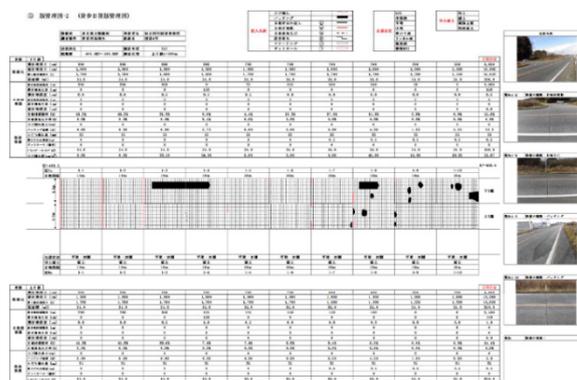


図-1 作成した舗装管理平面図の例

2. 効率的な維持管理手法の検討

2-1. 路面性状データとの比較

全国の直轄国道のうち、特に損傷が著しいコンクリート舗装10区間（総延長：約1km）において、過去10年間の路面性状データから損傷度の経年的な変化を整理した。その結果、わだち掘れ量と平坦性には経

年的な変化がほとんど見られなかったが、ひび割れ度は特定の時期を境に急激に増加する傾向が見られるものがあつた。

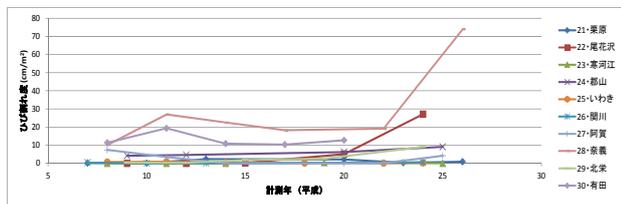


図-2 ひび割れ度の経年変化

2-2. 効率的な維持管理における留意点

対象区間において損傷により発生している問題や、維持管理の履歴・課題等に関して、道路管理者及び維持工事の請負業者にヒアリング及び情報収集を実施した。そのうち維持管理の履歴については、供用後30年以上経過している区間もあつたため、ほとんど保存されていなかった。ヒアリング等で収集した情報によれば、供用寿命の長さを期待してコンクリート舗装を採用する事務所が多い一方、補修工法の選定に資する資料を求める意見もあつた。

これらにより得られた情報と、国内外の文献調査結果等を踏まえると、

- ・海外においては、荷重が伝達されていない版間の段差に対し、バーステッチ工法（鉄筋を埋め込み、版同士を連結させる補修工法）を採用する例が見られる
 - ・縦ひび割れは構造的な破損であり、発生したら速やかに補修するのが望ましい
 - ・目地部の損傷は、雨水等の版下への侵入を引き起こし、路面の支持力低下の原因となるので、計画的な頻度で点検・補修を行うのが良い
- などが現場での維持管理における留意点として挙げられた。

3. 管理指標としての IRI の適用性に関する検討

2. で調査した区間のうち5区間において、路面プロファイルの測定と IRI の算出を実施した。この結果と路面性状データ及び目視による点検結果の関係を分析することで、コンクリート舗装の日常的な管理指標としての IRI の適用性について検討した。

算出した IRI と路面性状データを比較したところ、ばらつきが非常に大きかつたものの、路面性状値が悪くなるほど IRI が大きくなる傾向が見受けられ、そのうち平坦性ととの相関（図-3）が最も大きいことが確認された。

続いてばらつきを小さくするため、解析区間を分割した結果を図-4に示す。解析間隔を短くするほど、

IRI の値が突出しているのが見て取れる。

このデータと目視点検結果を比較した結果が図-5である。段差や目地部の補修位置で IRI の値が高くなっている箇所がいくつか見られ、解析区間を細分化することで局所的な損傷箇所を検知できる可能性が示された。

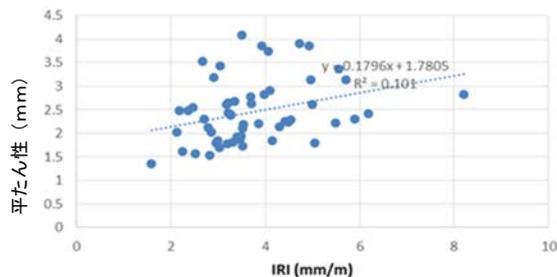


図-3 IRI と平均平坦性の関係

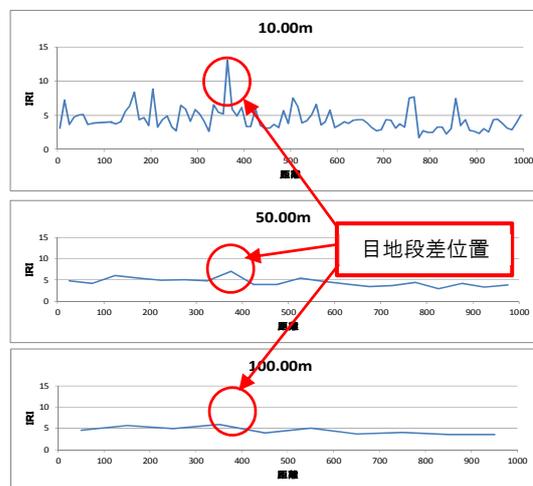


図-4 解析距離ごとの IRI 値の比較

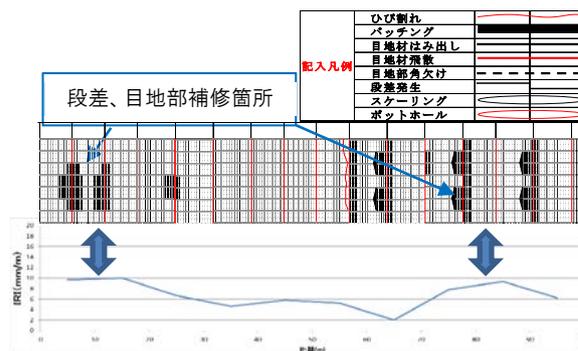


図-5 目視点検結果との比較

[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 小川 智弘

主任研究官 富澤 成実

Head, Tomohiro OGAWA

Senior Researcher, Narumi TOMISAWA

主任研究官 小塚 清

研究官 大野 真希

Senior Researcher, Kiyoshi KOZUKA

Researcher, Masaki ONO

研究官 根津 佳樹

交流研究員 近藤 和正

Researcher, Yoshiki NEZU

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 28 年 3 月に開催された「総合評価方式の活用・改善等による品質確保に関する懇談会」において公表した平成 26 年度の直轄工事における総合評価落札方式の実施状況を報告する。(平成 26 年度年次報告書)

[研究内容及び成果]

1. 直轄工事における総合評価落札方式の実施状況

平成 26 年度の年次報告書では、実施状況、入札の状況、

技術評価の状況、総合評価の結果と落札者の特徴、総合評価の導入と工事成績評定点など多角的な視点からの分析を行った。

1) 総合評価の契約タイプ別の実施状況

図-1 に示すとおり、平成 19 年度以降は、ほぼ全ての直轄工事で総合評価落札方式を適用している。

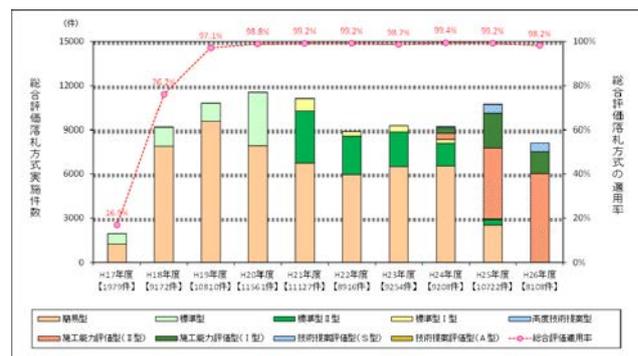


図-1 年度別・総合評価タイプ別実施状況(適用率・件数)

平成 26 年度における総合評価落札方式の実施件数は、8,108 件となっており、実施状況の対象データは、港湾・空港関係工事を含む 8 地方整備局を対象とした。

契約タイプ別で最も多いのは、図-2 に示すとおり、施工能力評価型 II 型の 6,001 件で全体に占める割合は 74.0%。続いて施工能力評価型 I 型の 1,506 件(18.6%)で

ある。なお、技術提案評価型の件数は 587 件で全体の 7% であり、その内訳は、技術提案評価型(S型)が 99.7%を占め、技術提案評価型(A型)の適用は 2 件である。また、平成 25 年度から本格運用を開始した新しい総合評価(二極化)タイプ(施工能力評価型、技術提案評価型)の適用率は 99.8%となった。

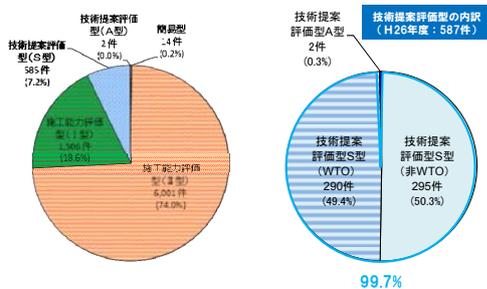


図-2 二極化のタイプ別適用件数の内訳

2) 競争参加者の状況

競争参加者数の平均は 6.2 者であり、図-3 で示すとおり、工事種別では「一般土木」「AS 舗装」「鋼橋上部」「PC」が多く、「維持修繕」「通信設備」「機械設備」では少なくなっている。また、総合評価の契約タイプ別では、WTO 技術提案評価型 S 型が平均 15.1 者と他のタイプに比べて著しく多くなっている。

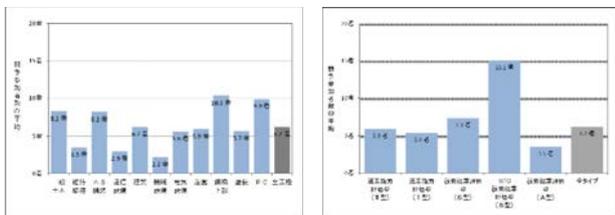


図-3 競争参加者数の平均(工事種別、総合評価タイプ別)

3) 技術評価点の状況(1位同点者数)

技術提案評価型(S型)では図-4 に示すとおり、規模が大きい WTO 工事で 1 位同点の割合が高く、特に「トンネル」「鋼橋上部」「PC」工事において 1 位同点が多い傾向にある。

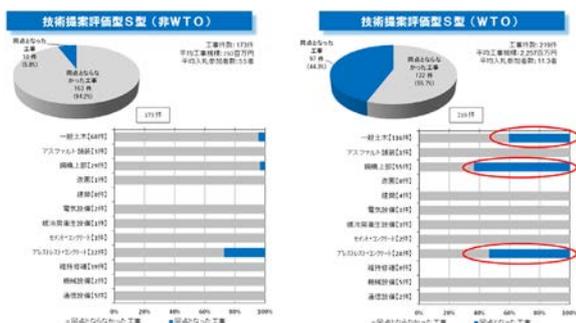


図-4 技術提案評価型における 1 位同点発生状況

2. 総合評価の結果と落札者の特徴

落札者の内訳は図-5 に示すとおり、全工事種別で見ると、最高得点で落札する企業の割合が 83%、最低価格で落札する企業の割合が 73%となっており、最高得点かつ最低価格の企業が落札する割合は 60%で最も高くなっている。

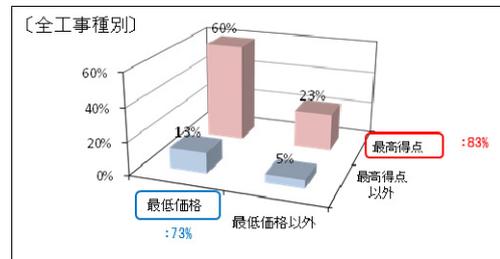


図-5 落札者の技術評価点と落札価格の関係

3. 工事成績評定点と技術評価点得点率の関係

工事成績評定点と技術評価点の得点率との関係を図-6 に示す。技術評価点の得点率が高い工事ほど、工事成績評定点の平均が高くなる傾向となっている。

このことから、入札の段階において技術評価点の得点率が高い企業ほど工事成績評定点が高いと言える。特に技術評価点の得点率が 90%以上の企業については、90%未満の企業と比べて工事成績評定点が 80 点以上の高評点を得る割合が多くなっている。

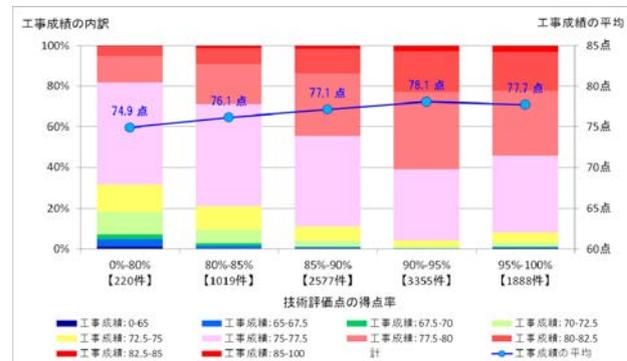


図-6 工事成績評定点と技術評価点得点率の関係

[成果の活用]

本研究の成果を基礎として、「公共工事の品質確保の促進に関する法律」の基本理念に基づき、調達手法として適用している総合評価落札方式について、より良い方式の確立に向けて検討・改善を進めていく。

なお、分析成果は「総合評価方式の活用・改善等による品質確保に関する懇談会」(平成 27 年度第 1 回:平成 28 年 3 月 1 日開催)において公表した。(http://www.nilim.go.jp/lab/peg/sougou_hinkakukon.html#26.03)

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	小川 智弘 Tomohiro OGAWA 富澤 成実 Narumi TOMISAWA 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、「構造物（道路橋）の補修・補強設計並びに工事における課題の整理」、「構造物（道路橋）の補修・補強設計並びに工事の入札・契約の実施結果の集計・整理」を行った。更に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、構造物の補修・補強設計並びに工事に適した入札・契約手法及び発注図書の詳細な記載方法の整理を行った。

[研究内容及び成果]

1. 構造物（道路橋）の補修・補強設計並びに工事における課題の整理

具体的な課題の内容を把握するための聞き取り調査結果より、「不調・不落の発生状況」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」等があった。施工者の対策として「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のある協議未了の工事の場合

に参加しない」、発注者の対策として「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」などの工夫をしていることがわかった。「契約後の大幅な設計変更の状況」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」。「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」に関する課題では、設計者の意見として「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」等があった。

2. 「設計」、「施工」の各プロセス間の連携を図るための仕組み・方法の整理

「工事の受注者が設計段階から関与する方式」、「設計の受注者が施工段階で関与する方式」、「設計と工事を一括して発注する方式」を基本として補修事業の分類と各方式の位置付けを図-1に整理した。



図-1 補修事業の分類と各方式の考え方

施工者が対策工法の選定に関与することで最適な設計を行える場合に「工事の受注者が設計段階から関与する方式」を適用する。例えば、施工場所、工期、コストの制約がある場合や損傷の程度が重大である場合が該当する。このような場合、一般化された対策工法に基づく設計では必ずしも最適な補修・補強が達成できない可能性もあるため、設計者が施工者の提案する対策工法を比較案に含めて最適な対策工法の選定を行うことが考えられる。

施工者の施工計画に基づき設計の見直しを行うことで現実的な細目や数量が確定する補修、未把握損傷の内在リスクが高く施工段階で相当程度の変更を余儀なくされる補修等に対し「設計の受注者が工事段階で関与する方式」の適用を検討する。本方式では、設計者が施工者の設置した足場を活用して詳細調査を実施の上、当初設計を見直し工事発注用図面を作成する。

「設計と工事を一括して発注する方式」としては、設計施工一括発注方式や詳細設計付き工事発注方式がある。「工事の受注者が設計段階から関与する方式」を適用すべき補修にあっては設計施工一括発注方式、「設計の受注者が工事段階で関与する方式」を適用すべき補修にあっては詳細設計付き工事発注方式の適用も考えられる。

3. 構造物（道路橋）の補修・補強設計並びに工事の発注図書の整理

競争参加資格（参加要件）、総合評価（加点点要件）、条件の明示・設計変更に係る条件明示の3項目を基本として、発注図書における具体的な記載内容に関する整理を行った。その結果を表-1に示す。

補修・補強設計では、同種実績の設定を構造に関する条件（工種・部位等）とし、工事では、難易度の高い工法や制約条件（交通規制等）を踏まえた同種実績を設定することを明記した。いずれの場合においても、要件を満たす技術者が少ない場合は、要件緩和を検討することとしている。

また、一般的な内容の設計並びに工事を対象に、比較的小規模又は高度な専門的技術を必要としない「設計の受注者が工事段階で関与する方式」、「設計と施工を分離で発注する方式」に関して、地方整備局等における構造物補修に関する工事情報の分析等から、工事発注時に必要な特記仕様書、数量総括表、設計図面について、明示すべき標準的事項を整理した。表-2に特記仕様書に明示すべき標準的事項を示す。

特記仕様書の作成にあたっては、表-2の記載項目について検討し、必要に応じて情報を適宜記載することとした。ただし、表中に【参考】と記載したものは、

工法指定につながるおそれがあるため、参考情報として必要に応じて記載し、同等以上の性能を有する他の材料や工法の採用が可能であることを明記することが望ましいとしている。

表-1 補修・補強設計並びに工事の発注図書への具体的な記載内容

①競争参加資格（参加要件）	技術的難易度に応じた工事種別の選択	補修・補強設計		補修・補強工事
		資格	業務内容	補修・補強工事
企業に求める資格、同種実績	同種実績	(競争参加資格要件において企業の資格は求めない)		
		業務内容 <ul style="list-style-type: none"> 必要に応じて、点検・診断業務の実績を付加 構造・形状 <ul style="list-style-type: none"> 鋼橋上部、PC、橋梁下部などの工種を指定 鉄筋コンクリート構造物の防食工事の施工実績 道路における鋼橋の補修工事の施工実績 規模 <ul style="list-style-type: none"> 原則設定しない（長大橋の補修・補強設計の合は例外） 工法 <ul style="list-style-type: none"> 難易度の高い補修・補強が含まれる場合は、当該工法の施工実績を設定 橋梁の鋼製の支保脚工の施工実績 道路橋のうち鋼橋主要部材の疲労亀裂補修工事の施工実績 制約条件 <ul style="list-style-type: none"> 当該発注工事における制約条件を考慮の上、条件を設定 車線数が2車線以上の道路で、交通規制を伴った橋梁補修、補強又は新設工事の施工実績 鉄道上（営業中）の工事の施工実績 	<ul style="list-style-type: none"> 難易度の高い補修・補強が含まれる場合は、当該工法の施工実績を設定 鋼橋上部、PC、橋梁下部などの工種を指定 鉄筋コンクリート構造物の防食工事の施工実績 道路における鋼橋の補修工事の施工実績 	
配置技術者（加点点要件）	資格	<ul style="list-style-type: none"> 従来設定している資格要件に加えて、「公共工事に関する調査及び設計等の品質確保に関する技術者資格登録規定（第1回登録：平成26年度）」に基づく民間資格等の活用を積極的に検討 道路橋点検士・構造物診断士（一級）・コンクリート構造診断士・プレストレストコンクリート技士・コンクリート診断士 	<ul style="list-style-type: none"> 企業に求める同種実績と同様の考え方で設定するもの、要件を満たす技術者が少ないことが見込まれる場合は、要件緩和を検討 	<ul style="list-style-type: none"> 工事で行う施工方法に関する技術提案を求めることが原則
②総合評価（加点点要件）	総合評価における評価項目	<ul style="list-style-type: none"> 設定している評価項目に加えて、「施工計画」に関する技術提案を求めることも検討 		
③条件の明示	設計変更に係る条件の明示	<ul style="list-style-type: none"> 補修・補強設計の発注に際し、発注者は設計業務の与条件と成り得る現有情報の整理を行い、特記仕様書に明示の上で業務に必要な設計条件等について受発注者間で確認 		<ul style="list-style-type: none"> 契約書に基づき、以下の適切な手続きを実施 設計図書に表示が明確でない場合の手続き 設計図書に示された自然的又は人為的な施工条件と実際の工事現場が一致しない場合の手続き

表-2 特記仕様書に明示すべき標準的事項

分類	項目	
条件明示	交通規制(通行止め・車線規制)	
	夜間施工 復旧方法(即日復旧・仮復旧) 足場の種類(移動足場、固定足場) 資機材の搬入路 干渉物の有無(架空線、検査路等の付属物) トンネルにおける漏水の有無 海岸付近における潮の干渉 特殊な試験等の有無 設計図書に明記されていなかった条件の扱い 条件変更時に設計変更にて対応する旨を明記 所り足場や降圧設備等、供用日数に関する条件を詳細(期間の根拠等)に明記	
共通事項	設計思想(要求性能) 交通規制について規制時間と規制方法(通行止め、片側交互) 夜間施工の有無 作業床の種類(固定足場、高所作業車)	
分類	項目	備考
個別の細別からの集約	既設構造物の情報	既設構造物に用いられている部材や床版等の情報(例)支承の規格、補強厚
	施工内容	各細別に含まれる作業内容や、作業指示【参考】(例)断面修復工に鉄筋防錆処理が含まれるか否か 塗装工における下地処理方法や重ね塗り回数
	材料(部材)の仕様・規格	付属物の取替等における、部材の重量等の情報(クレーン吊り重量等は施工計画に影響する)【参考】 塗装・溶射・注入材・繊維シート等の材料の仕様【参考】
	出来形・品質管理	塗装・金属溶射における膜厚管理方法 出来形管理の方法 品質管理(試験)の方法 試験施工の要否(普通は必要なので計上)

【成果の活用】

本研究の成果を基礎として、構造物の補修・補強設計並びに工事に適した入札・契約手法について、比較的大規模で高度な専門的技術を必要とする方式に関して更に検証し、課題を整理したうえで、地方整備局等や地方自治体で運用しやすい制度の構築に向けて検討・改善を進めていく。

設計基盤地震動と地盤震動特性の評価手法の検討

Study on design bedrock earthquake motion and evaluation of ground shaking characteristics

(研究期間 平成 27～29 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
研究官	梶尾 辰史
Researcher	Tatsushi KAJIO

Design bedrock earthquake motion is required for seismic design based on ground-structure earthquake response analysis. This study aims to study ground shaking characteristics during major earthquakes and propose design bedrock earthquake motions taking account of the characteristics.

〔研究目的及び経緯〕

道路橋示方書の設計地震動は、地盤条件による揺れやすさの違いを考慮するため、地盤の基本固有周期で分類される地盤種別ごとに設定されている。一方、施設が基盤面に建設される場合などでは、その地盤震動特性に応じた設計地震動を設定することにより、一層合理的に耐震安全性を確保することが可能と期待される。本研究は強震記録の分析により地盤震動特性を評価し、現行の地盤種別ごとの設計地震動と整合する基盤面の設計地震動を構造物への影響も踏まえてとりまとめることを目的とする。

27年度は、地盤地震応答解析手法による強震記録の再現性を比較・整理するとともに、強震観測点の地盤構造モデルを作成し、基盤地震動を算出して道路橋および他の構造物の設計地震動と比較した。

〔研究内容〕

1. 地盤地震応答解析手法による強震記録の再現

一般に最もよく用いられている SHAKE をはじめ、FDEL、DYNEQ およびこれら2つの手法をそれぞれ拡張した手法、計5つの地盤地震応答解析手法により、鉛直アレー観測の地表面で得られた強震記録から地中で得られた強震記録を再現することを試みる。その結果から、地中の記録の波形・スペクトルの再現性を比較・整理し、再現性の高い結果が得られた2つの手法を選定して次の基盤地震動の算出に用いる。

2. 基盤地震動の算出と設計地震動との比較

上記1. で選定した2つの手法により、地表面で強い揺れが観測された代表的な強震記録から、基盤面における地震動を逆応答解析により算出する。プレート境界型地震としては、2003年十勝沖地震(M8.0)、2011

年東北地方太平洋沖地震(M9.0)の2地震を対象とし、地盤情報を把握できる強震観測点で得られた12記録を選定した。また、内陸直下型地震としては、1995年兵庫県南部地震(M7.3)、2000年鳥取県西部地震(M7.3)、2004年新潟県中越地震(M6.8)、2007年能登半島地震(M6.9)、2007年新潟県中越沖地震(M6.8)、2008年岩手宮城内陸地震(M7.2)の6地震を対象とし、同様に26記録を選定した。

〔研究成果〕

1. 地盤地震応答解析手法による強震記録の再現

強震動の鉛直アレー観測記録として、震度6弱以上の強震観測記録が得られている観測点を対象とする。研究事例のある地点については、それを参照しつつ地盤モデルの設定を行った。10点で弱震記録での検証(震度4程度)も行った。

図-1に地盤地震応答解析の例を示す。逆応答解析には、SHAKEは適用困難である。全般にFDELとその拡張手法がよい傾向にあるが、液状化等により大

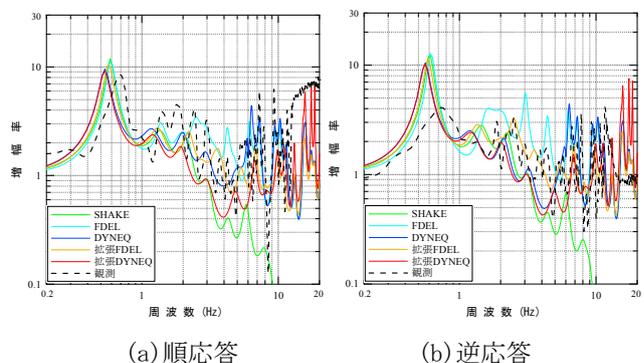


図-1 観測記録との比較例(1995年兵庫県南部地震)

大きく非線形化したような場合には DYNEQ とその拡張手法の方がよい。それぞれ元の方法より拡張手法の方が安定しているため、拡張 FDEL、拡張 DYNEQ の 2 手法を採用することとした。

2. 基盤地震動の算出と設計地震動との比較

地表での観測記録から逆応答解析により基盤地震動を算定した。比較の結果、拡張 DYNEQ よりも拡張 FDEL 法による結果の方が妥当と考えられるので、以降では拡張 FDEL 法による結果を示す。

S 波速度 400m/s 以上を工学的な基盤として、設計スペクトルを規定している「鉄道構造物等設計標準・同解説」、建築基準法、およびダム基礎岩盤での観測記録の統計分析によるダム距離減衰式により想定地震に対する応答スペクトルを算定する「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説」との比較を行う。ダムの距離減衰式としては、最新の H23 式の最短距離式を用い、プレート境界型で Mw8.0、内陸型で Mw7.0 として算定する。比較した結果を図-2 と図-3 に示す。

妥当性が低いと考えられる結果については、細い破線で示している。

基盤の S 波速度 (V_B) が 600m/s 以上では、ダム式相当で、鉄道標準より小さく収まっている。プレート境界型地震では基盤速度が小さい観測点が少なく判断が難しいが、内陸直下型地震で見ると、基盤 S 波速度が小さい方が周期 0.5~3 秒で鉄道標準を上回る度合いが大きい傾向にあり、 $450 \leq V_B < 600\text{m/s}$ では概ね鉄道標準と同等と見なせると考えられる。

以上の算定結果と基盤設計スペクトルの関係を、以下にまとめる。

- ① 基盤地震動として、基盤 S 波速度が 400~600m/s での結果が概ね妥当と考えられる。ただし、深層増幅の影響等を含んでいる。
- ② 基盤 S 波速度が 600m/s を越える場合、深層の影響も小さく、十分に硬い条件での地震動と見なせる。
- ③ 短周期成分については逆応答での精度確保は難しく、ほぼ平坦になるものとして見なす必要がある。

[成果の活用]

道路橋耐震補強便覧に反映する。

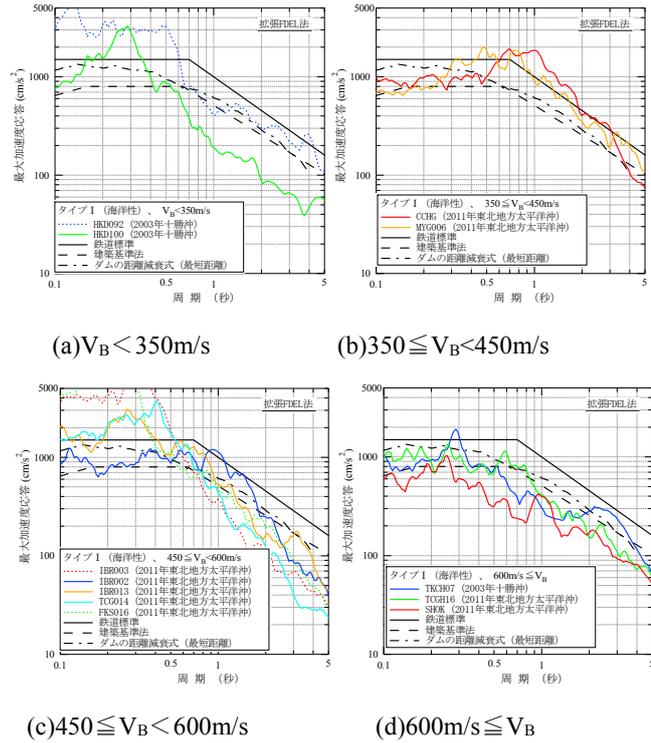


図-2 逆算した基盤地震動の加速度応答スペクトルと各種設計スペクトル等との比較（プレート境界型地震）

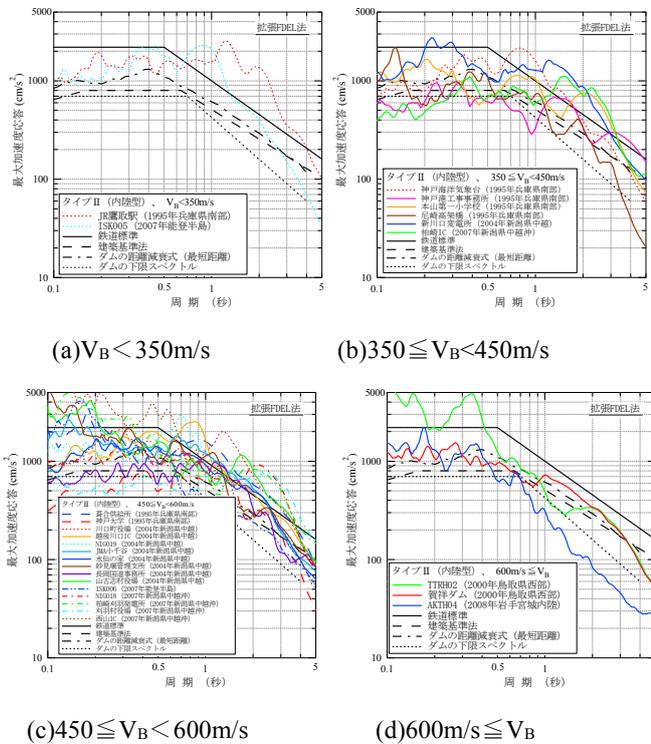


図-3 逆算した基盤地震動の加速度応答スペクトルと各種設計スペクトル等との比較（内陸直下型地震）

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
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	重高 浩一
Head	Koichi SHIGETAKA
主任研究官	青山 憲明
Senior Researcher	Noriaki AOYAMA
研究官	川野 浩平
Researcher	Kouhei KAWANO
交流研究員	山岡 大亮
Guest Research Engineer	Daisuke YAMAOKA

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及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]

主な研究内容を以下に示す。

1. 設計及び工事段階での CIM モデル標準化

本研究では、CIM の導入普及に向けて、道路・橋梁を対象とした CIM モデルの標準化に関する調査および検証を実施し、昨年度に作成した CIM モデル作成仕様 (案) を修正した。また、CIM モデル作成仕様 (案) の理解を深めるため、HP 等で公表するサンプルデータを作成した。

2. 維持管理における CIM モデルの高度利用

本研究では、まず、橋梁の点検業務やその結果を格納する全国道路橋データベース (以下、維持管理 DB という。)と、損傷等の点検結果を 3 次元モデル上に表現する方法とを調査した。次に、点検結果や損傷状況を CIM モデルに関連付けて可視化するための方策を整理することで、維持管理情報を統合管理できる CIM モデルの要求仕様に関する基礎資料を作成した。

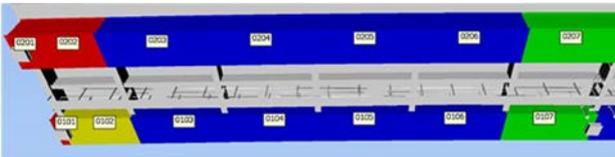
〔研究成果〕

主な研究成果の概要を以下に示す。

1. 維持管理での活用を想定した CIM モデル作成仕様
(案) 橋梁編及び道路編

CIM モデル作成仕様に関する研究の成果として、まず、昨年度に作成した CIM モデル作成仕様(案) 橋梁編に記載した点検要素毎の分割モデルと属性情報の紐付け方法について検証し(図-1)、CIM モデル作成仕様(案) 橋梁編を修正した。次に、道路を対象として、橋梁と同様に維持管理段階における CIM モデルによる効率化が期待される活用場面を抽出し、それを実現するために必要な 3 次元モデル詳細度及び属性情報を設定し(表-1)、CIM モデル作成仕様(案)【検討案】道路編を作成した。

a) 点検要素毎に分割して属性付与した場合



b) 点検要素毎に分割せずに属性付与した場合

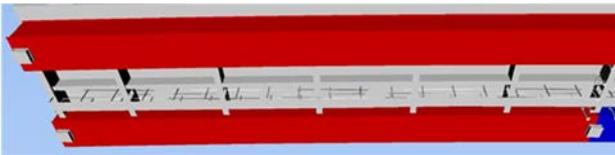


図-1 要素分割モデルと属性情報の紐付け

表-1 道路 3 次元モデルの作り込みレベルと付与すべき属性情報

段階	構成要素	3 次元モデル	属性情報
設計段階	土工	①中心線形、測点、基準点、横断の 3D 形状	線形名、土質、測点、基準点、横断構成点
	擁壁	②一般図モデル	工法、種別、形式、諸元
	函渠		
	地下埋設物	③中心線形、3D モデル	管理者名、測点、種類、歩車区分、管径、土被り
	地形	④5m メッシュモデル(地理院) ⑤90m メッシュモデル	位置情報(緯度経度)、住所、データ入手元
	交差点	⑥平面図、中心線計、3D ボリライン	道路施設基本データに準ず
施工段階	法面	⑦一般図モデル(中心線形、縦断図、横断図) ⑧面モデル ⑨ソリッドモデル	中心線形、測点、横断構成点、管理基準点、構造物諸元
	土工	①中心線形、測点、基準点、横断の 3D 形状 ②形状モデル(①で作成したモデル) + ボリライン ③ボクセルキューブ ④竣工モデル(LP を利用)	設計段階での属性情報を継承 起工測量データ、土質、施工日時、日施工量、改良の有無、改良材
	擁壁	⑤施工モデル	設計段階での属性情報を継承 変更があった場合は変更、更新 ひび割れ、漏水、欠損等の位置、大きさ
	函渠	⑥竣工モデル	
	地下埋設物	⑦中心線形、3D モデル ⑧竣工モデル	設計段階での属性情報を継承 変更があった場合は変更、更新 ひび割れ、漏水、欠損等の位置、大きさ
	地形	⑨LP 起工測量モデル	位置情報、住所、取得日、取得企業

2. 維持管理情報を統合管理できる CIM モデルの要求仕様に関する基礎資料

CIM モデルの高度利用に関する研究の成果として、まず、橋梁の点検業務において代表的な事例を調査し、損傷記録が構造物部材等に対してどのように関連づけられて表現されているかを整理した。また、損傷等の点検記録を 3 次元モデル上に表現する上で有用となる技術を既往文献により調査し、導入可能性の高い先端技術を抽出した。次に、維持管理 DB から点検結果のデータを部材単位で取得して CIM モデルの属性情報として受け渡す方法を調査し、維持管理 DB との連携を行う場合に CIM モデルが具備すべき要件を整理した。そして、実際に維持管理 DB から取得した点検結果を橋梁 3 次元モデルと紐付けて可視化することで、連携方法の作業手順を明らかにした(図-2, 図-3)。

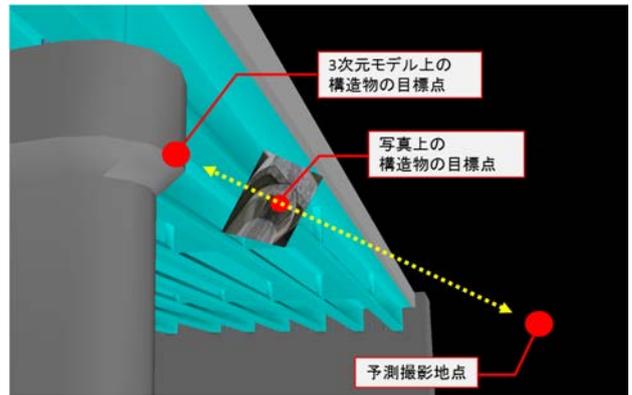


図-2 3 次元モデルと点検記録(損傷写真)の関係

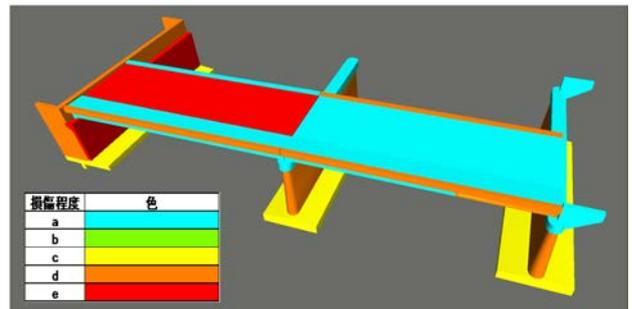


図-3 維持管理 DB の損傷度を反映した 3 次元モデル

〔成果の活用〕

「維持管理での活用を想定した CIM モデル作成仕様(案) 橋梁編及び道路編」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。「維持管理情報を統合管理できる CIM モデルの要求仕様に関する基礎資料」は、実際に点検結果と 3 次元モデルの連携を確認できたことから、今後は資料の有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 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
メンテナンス情報基盤研究室
Maintenance Information Technology Division

室長 重高 浩一
Head Koichi SHIGETAKA
主任研究官 近藤 弘嗣
Senior Researcher Koji KONDO
研究官 長山 真一
Researcher Shinichi NAGAYAMA

The authors studied the expansion of application engineering species and application technology of the can-shaped management using a three-dimensional surveying equipment. In addition, toward the realization of faceted can form management which is one of the efforts in the "i-Construction", the authors drafted the can-shaped management procedure using the UAV.

〔研究目的及び経緯〕

国土交通省では平成 25 年度に第二期情報化施工推進戦略上の課題の一つとしてトータルステーション（以下 TS）を用いた出来形管理の工種拡大をあげており、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。

さらに、平成 27 年度に国土交通大臣が発表した i-Construction では、ICT の全面的な活用による生産性向上をターゲットの一つとしており、土工においてレーザースキャナや UAV を活用し、測量・計測の効率化を図るとともに、取得した 3 次元データを活用して施工や検査の効率化も図るなど、一連の生産プロセスの向上に取り組んでいくこととしている。

本研究では、情報化施工技術の 1 つである TS を用いた出来形管理の適用工種の拡大として擁壁工と埋設構造物への導入に向けた検討を行った。さらに、「i-Construction」の取り組みの 1 つである面的な出来形管理の実現に向けて、UAV を用いた出来形管理要領の素案作成等を行った。

〔研究内容・研究成果〕

1. 3次元座標計測機器を用いた出来形管理の擁壁工への工種拡大に向けた調査・整理

1) 「TSを用いた出来形管理」による擁壁工の計測手法の考案

擁壁工のうち場所打擁壁工を対象に 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、従来と同様に幅、基準高、高さであるため、それらを管理する手法を考案した（図 1）。

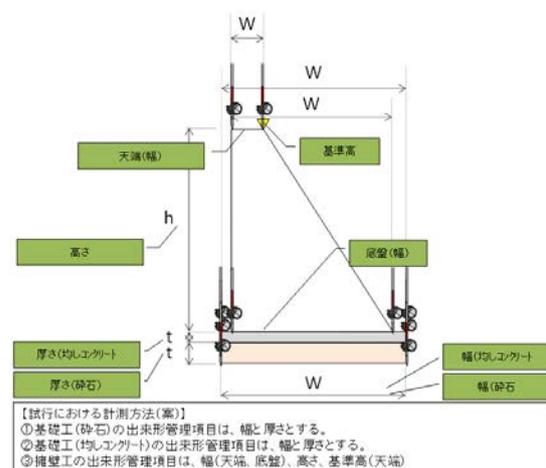


図 1 擁壁工の計測手法

2) 「TSを用いた擁壁工出来形管理」に関する効果

現地調査結果およびヒアリング結果から TS を用いた擁壁工出来形管理への適用に関する効果を試算した。主な結果を以下に示す。

従来手法と TS 手法と比較すると従来手法が 394 分、TS 手法が 340 分と計測時間が 1.4 割減少している。要因は、丁張計算や擁壁工事の出来形計測の作業時間が減少したためである（図 2）

3) 「TSを用いた擁壁工管理」の計測結果

擁壁工の出来形管理項目の幅、基準高、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。

基準高、高さ、幅員（天端）の計測結果は、従来手法と TS 手法の差異が ±10mm 以内であった。幅員（底盤）の計測結果は、従来手法と TS 手法の差異が 40mm

以内であった。(図3)

天端(底盤)で、従来手法との差異が大きい箇所
の要因は、擁壁の壁面にピンポールの中心が寄せきれ
ないため、ピンポールの厚さ分(片側につき、ピンポ
ールの直径)、広めに計測することが推察される。

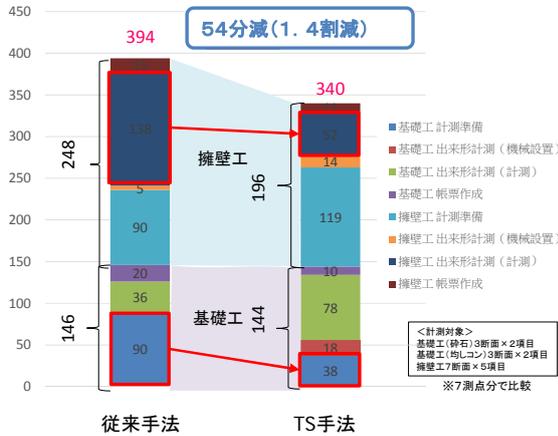


図2 時間短縮効果(擁壁工)

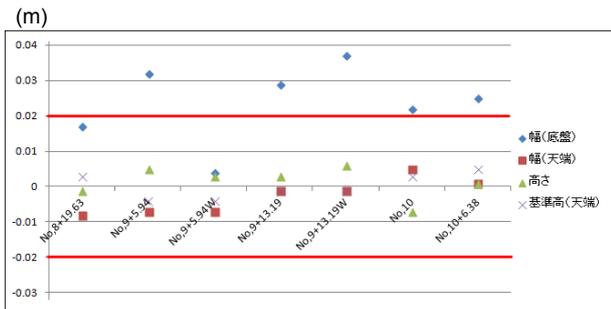


図3 計測結果の差異

2. 写真測量による埋設物の計測手法構築に向けた整理

写真測量を用いた埋設物の管理手法構築に向けて、計測手法の整理を行い、施工現場の条件(計測間隔、写真撮影場所等)を模擬した要素試験を実施した。要素試験の検証項目は、計測精度であり、ラップ率、被写体での画素寸法(解像度と距離の関係で決定)、埋設物へのマーキングの有無との関係を確認した、表1に要素試験結果を示す。

要素試験の結果、埋設物にはマッチングのためのマーキングを設置し、画素数は、31万画素以上、写真のラップ率が80%以上でモデル化ができた。TSとの差については、8mm~41mmとなり、計測精度50mm程度が可能だと考えられる。

表1 要素実験の結果

画素数	mm/pixel	ラップ率	TSとの差					
			マーキング無し			マーキング有り		
			X	Y	Z	X	Y	Z
16M(約1600万画素) 4608×3456	0.54mm	80%	—	—	—	41mm	8mm	22mm
		60%	—	—	—	—	—	—
0.3M(約31万画素) 640×480	3.90mm	80%	—	—	—	27mm	28mm	22mm
		60%	—	—	—	—	—	—

3. UAV写真測量における出来形管理の調査整理

空中写真測量(UAV)を用いた出来形管理要領(素案)の作成を行った。策定に向けては、TSとの特徴の違いの整理や、要領策定のポイントを整理した上で、素案を作成した(表2)。また、全国9地整等で調査されたUAV、LS、施工履歴データの計測結果をもとに、TSとの精度(高さ精度)の違いのとりまとめを行った。図4に、空中写真測量(UAV)の高さ精度(天端部)の検証結果を示すが、真値としたTSの高さと比較すると、おおむね、個々の計測値は、±100mm以内であり、標準偏差(1σ)は、15mm程度であった。この結果、3σ(正規分布における99.7%)をとると50mm程度となり、本調査における空中写真測量(UAV)の計測精度は50mm程度となった。なお、本検証では、法肩や法尻等の変化点は、評価の対象から除外している。

表2 空中写真測量(UAV)の出来形管理要領の改訂点

策定のポイント	解説
3次元データの契約図書化	3次元データによる施工・管理・検査を前提として、3次元設計データを契約図書に位置づける必要がある。
3次元計測基準の整備	利用目的に応じて求められる3次元座標の取得基準に沿って計測を行うため、計測機器の精度、取得点数の密度、データ処理手順等を定める必要がある。
3次元出来形管理基準	3次元計測により計測された多点情報を用いて、効率的な面的施工管理を実現するために、従来と同等の出来形品質を確保できる面的な管理基準・規格値を定める必要がある。
数量算出の3次元化	管理断面以外の位置を特定しない多点計測の取得結果を利用した数量算出を実現するために、平均断面法の他、3次元CAD等を用いた数量算出方法を定める必要がある。
3次元データでの納品	取得した3次元施工データをそのまま利用できる納品する方法を実現するために、3次元設計データと3次元管理結果、設計データの納品仕様を定める必要がある。
3次元モデルによる検査	3次元データの活用により検査の省力化と、納品される3次元データを用いた図や資料作成を省力化するために、システム等を利用した納品データの描画による判定が必要である。

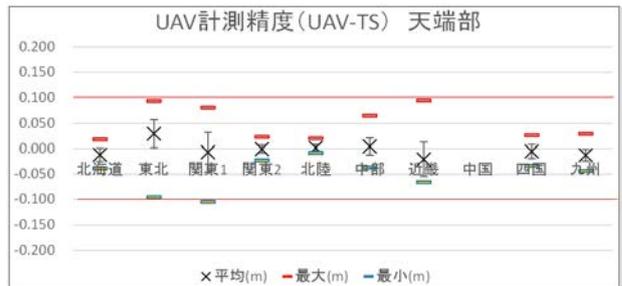


図4 UAV手法とTS手法の計測結果の差異

4. おわりに

TSを用いた出来型管理の擁壁工の出来形管理手法について、現場試行の結果、適用性を確認できた。しかし、実用化に向けて課題も確認されたため今後は課題への対応を図って行きたい。また、UAVについての精度検証ができた。それらの検討結果を基にして、TS出来形管理要領(素案)及びUAV出来型管理要領を作成した。