道路構造物の津波被害メカニズムの解明

及び要求性能に関する調査検討

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

(研究期間 平成 24~26 年度)

道路研究部	道路構造物管理研究	昭室		室長	玉越	隆史
Road Depart	ment Bridge and Str	uctures [Division	Head	Taka	shi Tamakoshi
	主任研究官	白戸	真大	研究官	横井	芳輝
	Senior Research	er Masah	niro Shirato	Researcher	Yosl	niteru Yokoi
	部外研究員	氏本	敦			
	Guest Research	Engineer	Atsushi U	Jjimoto		

Highway bridges were damaged due to tsunami in the 2011 Great East Japan Earthquake. However, the relationships between tsunami forces and damage degrees are not identified. It is important to develop design tsunami force and criteria is one of the important problems. Thus, NILIM has studied on the relationships between tsunami forces acting on the highway bridges and observed damage degrees using numerical tsunami simulation.

[研究目的及び経緯]

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震では, 津波により東北地方から関東地方の広い範囲で甚大な 被害が発生した。道路橋においても、津波による上部 構造や橋台背面土の流出、下部工の倒壊などの重大な 被害がみられた。一方で今後も巨大津波を伴う地震の 発生の可能性があるものと考えられており、震災時の 道路ネットワーク機能の確保の観点などから、道路橋 の整備や管理にあたって津波の影響を適切に評価でき る技術の確立が重要な課題となっている。

本研究では、東北地方太平洋沖地震における津波に よる道路橋の被災の有無および形態に関する情報を幅 広く収集するとともに、水理シミュレーションなどに よって道路橋に影響を及ぼした津波の性状を推定した。 その上で推定された津波によって道路橋に作用した外 力を内外の既往の津波作用力の評価手法によって推定 した結果と実被害の相関の分析を行い、道路橋の津波 による被災可能性の推定手法について検討を行った。 さらに、強い地震動と津波の両方の影響を受ける可能 性のある道路橋に対する要求性能の合理化の観点から、 現行設計基準で許容されている地震動による部材の一 部塑性化などの損傷状態に対する津波の影響ついて数 値解析による評価を行った。

[研究内容及び研究成果]

1. 津波に対する影響の評価手法に関する調査

橋梁・港湾構造物・建築構造物等に津波が作用する 影響を評価した基準類(米国連邦緊急事態管理庁 FEMA 式、オレゴン州式、合田式、朝倉式他)やその根拠と なる研究事例等について文献調査を行った。いずれの 評価式においても、静力学的な圧力と流体力学的な圧 力のいずれか又は両者を津波の作用による影響要因と して見込んでおり、衝撃や波の条件などによる効果を 実験的又は経験的に付与した式となっていた。

そこで本研究では、これらの既存評価式により見込 まれている要因を反映した外力を考慮するものとし、 水平方向については,橋軸直角方向に静水圧と流体力 として働く抗力の合力、鉛直方向は,浮力と橋軸直角 方向の流れに対する揚圧力の合力の両者を考慮し,津 波外力を検討した。抵抗力は、水平方向については支 承アンカーボルトの終局せん断耐力の総和、鉛直方向 については自重及び支承の鉛直抵抗力の総和とした. また、水平方向と鉛直方向の作用力により橋桁に作用 する回転モーメントも考慮するものとし,それに対し ては,下流側の支承を中心とする自重及び支承の鉛直 抵抗力による回転モーメントにより抵抗するものとし た.

2. 津波に対する影響の評価手法に関する調査

津波による浸水が生じた地域のうち、岩手県、宮城 県、福島県の沿岸に位置する約200橋(表-1)を対象 とし、検討では各橋梁位置における津波外力を評価す るために必要な津波特性(流速、流向、水深等)は過 年度に水理シミュレーションを実施し,算出した結果 を用いた。

図-1に、各橋梁架橋位置での津波の浸水高さ及び流

速と上部構造の流出の有無との関係を示す。なお、浸 水高さは地表面又は静水面からの津波高さ、流速は橋 軸直角方向の流速を示しており、両者とも、津波の一 波目の押し波における最大値とした。この図より、今 回検討対象とした道路橋の架橋位置における津波の最 大流速は12m/s 程度、最大浸水高さは19m 程度であっ た。一方で、算出した流速や浸水高さと被害状況には 明確な相関は見られなかった。これに、地域特性(流 域毎、海岸線からの距離)、橋種も考慮し、被害との相 関関係についても検討を実施したが、明確な相関は見 出せなかった。

そこで、本年度は、津波による作用力と橋梁の抵抗 力の関係に基づき、上部工流出の有無について橋種ご とに相関分析を行った。対象とする橋種は表-1の約 200 橋のうち、図面あるいは現地調査にて上部構造形 式、構造寸法等の諸元を把握できた橋梁のうち、20橋 以上存在するコンクリート床版橋(35橋)、コンクリー トT桁橋(24橋)、鋼I桁・H桁橋(26橋)とした。なお、 水門の真裏に位置する橋梁や並列橋の陸側に位置する など局地的な影響を受けたと思われる橋梁については 対象から除外した。また、相関分析は、実際の被害形 態から,水平および回転に着目して検討を行った.水 平作用力と水平抵抗力と上部構造の流出の有無との関 係を図-2、回転作用力と回転抵抗力と上部構造の流出 の有無との関係を図-3に示す。図には、線形判別分析 により得られた判別関数及び判別関数により流出の有 無が判定できた割合を判別的中率として示している。

図-2 に示すように水平移動については、いずれの橋 種においても的中率は 70%程度と高く、算出した作用 力と抵抗力との大小関係から流出の有無を判別できる 可能性があることを確認した。図-3 に示す回転に対し ても、判別率 60%程度が得られた。一方で、未流出と 判定される橋でも流出している橋もあるため、評価水 準については引き続き検討が必要である。また、橋種 により判別関数が異なる結果となったことから、断面 形状などの構造特性の違いによる不確実性の内訳につ いては課題が残っている。

[成果の発表]

国総研資料及び各種論文で発表予定。

[成果の活用]

今後も検討を続け、津波の影響を受ける道路橋に対 する技術基準の検討の参考資料とする。

表-1 調査対象橋梁

橋種	流出	未流出	計
鋼橋	41	34	75
コンクリート橋	56	73	129
計	97	107	204

注)なお、橋種については、衛星写真からの推定も含む。







土工の地震被害メカニズムの解明及び要求性能に関する調査検討

Study on damage to earth structures and performance requirements for rare-scale earthquakes (研究期間 平成 24~26 年度)

道路研究部	道路構造物管理	 田研究室	室長	玉越 隆史
Road Depart	ment Bridge and	d Structures Division	Head	Takashi Tamakoshi
主任研	究官	大城 温	研究官	北村 岳伸
Senior	Researcher	Nodoka Oshiro	Researcher	Takenobu Kitamura

NILIM has examined past seismic damage to earth structures and approach embankments to bridges and conducted experiments for the seismic performance of large box culverts. A verification method for the seismic performance of large-scale box culverts for rare-scale earthquakes based on our experimental and numerical study was proposed.

[研究目的及び経緯]

従来の標準的な寸法を大幅に超えるボックスカルバ ート(以下「大型カルバート」という)については、 これまで顕著な地震被害を受けていない一方、大規模 地震時の挙動について不明な点も多く、耐震性能の照 査については統一的な方法が確立されていない。H24 年度は、盛土中の大型カルバートに対する耐震性能照 査法を検討した。

[研究内容及び成果]

1. 大型カルバート耐震性能照査法

H24 年度は、図-1 に示すような大型カルバートの耐 震性能照査手順を検討した。以下に、X1, X2, Y, Y1, Y2 の算出に係わる検討結果を示す。



2. カルバートの層間変形角の限界値 X1 及び X2

カルバートの耐震性に係わる共同研究を行っている (独) 土木研究所とともに、過年度までに 1/3 縮小モ デルを用いて 5 体のカルバートの正負交番載荷実験を 行っている。5 体は、よく使われる大型カルバートの 内空寸法、土かぶり厚の範囲を網羅するように設計し たもので、供試体の配 筋は常時土圧に対して 決定したものである。 表-1 に供試体の諸元 を、図-2に正負交番載 荷試験状況を示す。頂 板上面にて一定の分布 鉛直力を保持したまま, 端部位置にて交番水平 載荷を加えた。

図-3 に実験で得ら れた水平荷重・水平 変位関係の骨格曲線 を示す。荷重は、各 ケースの計測水平荷 重で無次元化してい る。変位は、頂版と 底版の変位差をカル バート高さで除すこ とにより、層間変形



図−2 実験状況写真



図-3 荷重-層間変形角

角に換算している。鉄筋の降伏はおおむね 1/300 で、 かぶりコンクリートの剥落は 4/300~12/300 で生じる。 また、層間変形角が 6/300 を超えると、最大水平荷重 に達したのち耐力が低下し、曲げ破壊や主鉄筋段落し 位置でせん断破壊を生じ終局状態に至るものがでてく る。

以上の実験結果から、一般的な条件の大型カルバー トでは、図1に示すX1として1/300から3/300程度、 X2として6/300程度が期待できる。

3. 応答層間変形角算出のための変位応答スペクトル

まず、台形状の道路盛土の縦断方向を対象に、地震

時に盛土に生じる水平変位と対応する平均せん断変形 を等価線形化法による3次元地震応答解析にて求めた。 表-2に解析ケース(全26ケース)を示す。盛土寸法

_
)
ĵ∎
Ĵ∏
Ĵ∎
Ĵ∎
ĵ∎
Ĵ∏

盤種別と地震波は道路橋示方書に規定されるものである。地震動は盛土軸線方向の一方向に作用させた。

地盤の非線形性は、いわゆる G/G₀~ γ 関係を用いて 考慮した。G₀の設定には拘束圧依存特性を考慮した。 また、カルバートの耐震性に係わる共同研究を実施し ている(独)土木研究所が東北地方太平洋沖地震にお ける堤防の地震応答観測記録から得た知見に基づき、 CASE10, 18, 22 では、G が 0. 25G₀に達したのちは γ が増 えても G が低下しないものとした場合の解析も行った。

地震応答解析の結果得られた、盛土の平均せん断ひ ずみと盛土高さの関係を図-4に整理した。代表例とし

て、盛土のせん 断Ⅱ種かけ。なが大き いⅡ種す。ながた結 果を均せん厳土の天 端と底の最大値を 感土高さで除し



図-4 盛土高さ-平均せん断ひずみ

たものである。盛土形状(天端幅)の違いによる応答 の差は小さく、今後解析ケースを追加することで、地 盤種別毎、地震動のタイプ毎に異なる平均せん断ひず み式を設定できそうである。なお、平均せん断ひずみ は最大で4.5% (13.5/300)程度であった。

次に、表-2の盛土のうち11ケースにカルバートを 設置し、同様の3次元地震応答解析を行った。表-3に 解析ケースを示す。CASE 番号の最初の数字は、表-2 のCASE 番号に対応しており盛土の条件を示している。 カルバートはそれぞれ常時土圧に対して設計した上で、 線形の梁要素でモデル化した。ただし、解析では、終 局状態に近い状態でのカルバートの応答を過小評価す ることがないように、大きな曲げ損傷が生じた状態を 想定した曲げ剛性として、各断面で初期剛性の1/10 を与えた。

表-3 に、解析の結果得られた層間変形角の最大値 Y を併せて示す。同じ盛土・カルバートの組み合わせに 対して、解析上 G に下限値を設定した場合には、下限

表-3 カルバートの地震応答

CASE	カルパート名	連数	内空幅	土被り	盛土高さ	盛土天端幅	法面 勾配	盛土材	地盤 種別	地震波 (L2)	層間 変形角
22-1	A	1	6.5m	小さい(0.5m)	低い(6.75m)	基本(9.0m)	1:1.8	粘性土	I	タイプ II	0.0299
4-2	B-1	1	6.5m	基本(5.0m)	基本(11.25m)	基本(9.0m)	1:1.8	砂質土	Π	タイプ II	0.0166
10-3	B-2	1	6.5m	基本(5.0m)	基本(11.25m)	基本(9.0m)	1:1.8	粘性土	I	タイプ II	0.0233
16-4	C-1	1	6.5m	大きい(10m)	高い(16.25m)	基本(9.0m)	1:1.8	砂質土	I	タイプ II	0.0077
18-5	C-2	1	6.5m	大きい(10m)	高い(16.25m)	基本(9.0m)	1:1.8	粘性土	Π	タイプ II	0.0080
22-6	D	1	14m	小さい(0.5m)	低い(6.75m)	基本(9.0m)	1:1.8	粘性土	I	タイプ II	0.0070
4-7	E-1	1	14m	基本(5.0m)	基本(11.25m)	基本(9.0m)	1:1.8	砂質土	Π	タイプ II	0.0019
10-8	E-2	1	14m	基本(5.0m)	基本(11.25m)	基本(9.0m)	1:1.8	粘性土	Π	タイプ II	0.0025
22-9	F	2	24m	小さい(0.5m)	低い(6.75m)	基本(9.0m)	1:1.8	粘性土	I	タイプ II	0.0104
14-10	G-1	2	24m	基本(5.0m)	基本(11.25m)	基本(9.0m)	1:1.8	砂質土	I	タイプⅡ	0.0058
10-11	G-2	2	24m	基本(5.0m)	基本(11.25m)	基本(9.0m)	1:1.8	粘性土	I	タイプⅡ	0.0072
	Gに下限値を設定する等したケース										
CASE	カルハート名	連約	内空幅	十被り	感十高さ	感十天端幅	法面	感十材	地盤	地震波	層間

 1
 6.5m
 小さい(0.5m)
 低い(6.75m)
 基本(9.0m)
 1:1.8
 粘性土
 II
 タイプII
 0.0106

基本(9.0m)

1.18 影性十

11-5 0-2 1 65m 法担い[100] 国ン(1625m) 国本(000m) 11:18 14世1 1 9-771 00073 値を設定しないときに比べ応答値が小さい。G に下限 値を設定した場合の結果を考慮すれば、全体として、 層間変形角は 1/300~9/300 の間に分布する。これは、 盛土だけで解析を行ったときの平均せん断ひずみより も小さく、また、大型カルバートの載荷実験結果(図 -3)から想定される X1 と同程度から X2 を少し超える 範囲である。大型カルバートにこれまで大きな地震被 害が生じていないことからすると、現実的なオーダー ながら現実に比べてやや大きめの応答が得られている 可能性がある。

6.5m 基本(5.0m) 基本(11.25m)

カルバートの層間 変形角を盛土の平均 せん断ひずみで除し たものをひずみ伝達 率と呼ぶことにし、 解析結果からひずみ 伝達率とカルバート

22-1



側壁部材厚の関係を整理した結果を図-5 に示す。ひず み伝達率は0.2~0.9の値を示し、カルバート連数によ る違いは小さい。図-5 には、図-1 における Y2 を算出 するための関数として、計算結果を安全側に包絡する 線を示した。このように、ひずみ伝達率を壁厚の関数 として与えることができると考えられる。

[まとめ]

図-1の提案手法は、X1, X2 については実験結果に基 づき、工学的意味が明確な値を与えられること、応答 Y については詳細なモデルを用いることなく算出でき ることから、設計実務における適用性が高いと考えら れる。

[今後の課題]

今後、盛土の応答予測式やカルバートの変形性能評 価法を標準化し、基準類への反映を図っていきたい。

[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]

道路土工カルバート工指針等の改定

高強度鉄筋コンクリート橋脚の設計基準に関する研究

Study on Design Criteria for Reinforcement Concrete Columns in Highway Bridges Having High-Strength Re-bars

(研究期間 平成 24 年度~26 年度)

道路研究音	⑧ 道路構造物管理研	开究室	室 長	玉越 隆史
Road Depa	artment, Bridge and	Structures Division	Head	Takashi TAMAKOSHI
Ē	E任研究官	白戸 真大	研究官	北村 岳伸
S	Senior Researcher	Masahiro SHIRATO	Researcher	Takenobu KITAMURA
音	邓外研究員	吉川 卓		
G	Suest Research Engi	neer Taku YOSHIKAW	4	

Cyclic loading tests have been conducted to develop a relevant calculation method to estimate the strength and ductility of bridge piers having high-strength reinforcement bars. A new numerical model has been proposed to estimate the damage process, strength and ductility of such bridge piers. It has been shown that the proposed method can estimate the damage process, strength and ductility of such piers varying with different structural details and axial compression stress levels.

[研究目的及び経緯]

道路橋では、橋脚に従来一般的に用いられてきたも のよりも高強度の鉄筋の使用は、鉄筋量の削減と断面 の縮小につながり、施工の省力化とコスト縮減になる ことが期待される。そのため、過年度まで、矩形断面 を有する軸方向鉄筋に高強度鉄筋を適用した場合を想 定し、鉄筋コンクリート橋脚の交番載荷試験を実施し てきた。その成果の一部は、平成24年に改訂された道 路橋示方書に反映された。

本研究は、今後もニーズがあると考えられる鉄筋コ ンクリート橋脚における構造諸元、軸圧縮応力度、軸 方向鉄筋強度等の組合せ(以下「断面諸元等」という。) 条件の変更に対して、地震時の断面破壊過程、強度及 び変形性能を合理的に評価できる手法を提案しようと するものである。H24年度は、過年度までと同様に高 強度鉄筋 SD490を軸方向鉄筋として用いた断面を「矩 形充実断面」から「円形充実断面」に変えた供試体を 作成して実験を行った。そして、提案する手法により 予測される断面破壊過程、強度及び変形性能と実験結 果を比較することで、提案手法の多様な断面諸元等へ の適用性を整理した。

[研究内容及び成果]

1. 実験結果

本年度の交番載荷実験では、H20年までに実施した 「矩形充実断面」の供試体のうちの一つと同等の水平 耐力を有する「円形充実断面」の供試体を作成した。 それらの諸元を表-1に示す。実験終了後の柱基部の鉄 筋破断状況及び箇所を図-1及び図-2に、載荷点での水 平力・水平変位関係を図-3に示す。



- 64 -

本実験の「円形充実断面」の供試体と過年度までの 「矩形充実断面」の実験結果を比較すると、かぶりコ ンクリート剥落時及び最大水平力時の水平変位は、供 試体設計で見込んだとおり、ほぼ同等であった。しか し、円形充実断面の方が、最大水平力時を越えて、水 平力が大きく低下しはじめる時(鉄筋破断時)の変位 は大きくなり、変形性能に富んでいた。履歴吸収エネ ルギー(荷重変位曲線ループの面積)については、矩 形充実断面の場合、かぶりコンクリートの剥落ととも に減少するが、円形充実断面はかぶりコンクリート剥 落後もほとんど変化がなかった。これらは、円形充実 断面であるため、帯鉄筋による横拘束効果が高いため と考えられる。

2. 提案手法の適用性検討

次に、断面諸元等の条件によらず RC 橋脚の地震時の 強度及び変形性能を推定できる手法について検討した。 提案する手法は、損傷の進展に伴う載荷点における水 平力・水平変位関係(図-3)の変化を物理的に特徴付 ける点である以下の点A~Eの離散予測値を直線で結 ぶもので、以下破壊予測線と呼ぶ。ここに、A:降伏 (引張鉄筋が降伏)、B:かぶりコンクリートの縁圧縮 応力がピークに達する、C:かぶりコンクリートが剥 落(軸方向鉄筋が露出する)、D:鉄筋破断が開始する 又は内部コンクリートが圧壊し始める、E:鉄筋破断 と内部コンクリート圧壊により残存耐荷力を失う点で ある。(E①:コンクリート圧壊時、E②:鉄筋破断時)

各点の評価に おいては、曲げ モーメント=曲 率関係の一般的 評価方法を用い るものの、点A ~Eの荷重及び 変位それぞれに 対して常に一定 の安全余裕を有 して確保した破 壊予測線となる ように、鉄筋や コンクリートの 応力ひずみ関係 とそれぞれの点 の有効断面を定 めた。また、



図-4 実験値と破壊予測線

鉄筋の破断ひずみを一律 6000 μ と仮定した。

本実験の「円形充実断面」の供試体と過年度の「矩 形充実断面」の供試体実験結果について、それぞれ破 壊予測線を求めた結果を図-4に示す。実験結果、ファ イバー解析(破壊予測線)と比べると、破壊予測線の 各点の強度及び変位とも常に安全側に評価している。 図-4 に ○印に示すように、B 点 (かぶり最外縁コンク リート圧縮ピーク)とC点(かぶりコンクリート無視、 最外縁鉄筋位置コンクリート圧縮ピーク)の水平力に ついて、矩形断面は実験でも破壊予測上も B>C である が、円形断面では逆転し、B<Cになる。C点の有効断 面を図-5に示す。矩形断面及び円形断面ともに、B点 では全断面有効であり、C 点にてかぶりコンクリート の一部が圧縮抵抗断面として無効となる。無効となる かぶりコンクリートが全断面積に占める割合は、矩形 断面に比べて円形断面の方が小さい。また、横拘束鉄 筋体積比の違いによる内部コンクリートの応力--ひず み関係の違いを図-6に示す。矩形断面の内部コンクリ ートに比べて、円形断面の内部コンクリートは帯鉄筋 よる横拘束効果が高く、より大きな圧縮応力が負担で きる。ゆえに、円形断面では、結果として、B点を超 えても荷重の増加が続く。





[今後の課題]

提案手法により、 断面諸元等によらず、 強度と変位のそれぞ れに対して一定に安 全性を有し、地震時 の鉄筋コンクリート



橋脚の破壊予測線を評価する方法を提案した。今後、 過年度までの実験結果についてさらに分析を加え、提 案手法の適用性について検討を進める。

[成果の発表]

国総研資料及び各種論文に発表予定である。

[成果の活用]

橋脚耐震設計基準作成の基礎資料となるものである。

超高カボルト摩擦接合継手の設計基準に関する研究

Study on Design Criteria for Frictional Grip Connection Joints with Super High-Strength Bolts (研究期間 平成 24~26 年度)

道路研究部	道路構造物管理研究	室	室長	玉越 隆史
Road Depar	tment Bridge and Stru	ctures Division	Head	Takashi Tamakoshi
	主任研究官	大久保 雅憲	研究官	石尾 真理
	Senior Researche	r Masanori Okubo	Research	Mari Ishio
	研究官	横井 芳輝	部外研究員	氏本 敦
	Researcher	Yoshiteru Yokoi	Guest Research Er	ngineer Atsushi Ujimoto

The use of high-strength bolts will enable to reduce the size of connections. It will also secure better construction qualities in the connections of thicker plates compared to welding. However, design guidance is not established for the use in highway bridges. In addition, the long-term characteristic of lagged destruction is a major concern. The present study has tackled to examine the joint performance of high-strength bolts in highway bridges.

[研究目的及び経緯]

鋼道路橋の架設に用いられる従来の高力ボルトより も高い強度を有する超高力ボルトは、継手部の小型化 や施工数量の削減などによるコスト縮減や品質確保が 困難な条件での厚板溶接の回避ができるなど、道路橋 の建設時及び補修・補強時におけるコスト縮減と品質 向上に資するとされ、実用化が期待されている。

しかし、道路分野では、過去に高強度のボルト (F11T, F13T)が突然脆性的に破壊(遅れ破壊)した事例 があったことから、耐久性上の懸念から使用が控えら れてきた。一方、近年耐遅れ破壊性能に優れた超高力 ボルト(以下「F14T」という。)が新たに開発され、建 築分野においては建築基準法に基づき国土交通大臣の 認定を受けて採用の実績を増やしている。

道路橋への適用に当たっては、主に①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)、 ②施工方法、③継手部の諸元の3点で建築分野とは異 なることから、上記①から③について適用性を確認す る必要がある。

国総研ではこれまで、①と②については、産学官の 共同研究を行い、道路橋への適用について検討中であ る。また、③については、新設橋で一般に用いられる ボルトの摩擦接合継手を対象に、ボルト等級・ボルト 径・接合面処理方法・母材板厚・母材材質・β(すべ り/降伏耐力比)・フィラーの有無・肌すき・多列・再 組立における接合面の処理方法をパラメータとした試 験を実施してきた。

平成24年度は、③について、施工性の向上を目的に、 ボルト孔径をパラメータとした試験を行うとともに、 再現解析を実施した。

[研究成果]

1. 標準すべり試験

図-1に示すボルトで接合された供試体を矢印の方 向に引張るという、標準すべり試験法¹⁾による試験を 実施した。試験ケースを表-1に示す。道路橋設計基準 において、ボルトの呼び径をdとしたときに、ボルト 孔径はd+2.5mmであるので、これを標準ケースとし、 道路橋以外での使用実績や諸外国の規定等を参考に、 d+3.5mm 及びd+4.0mmを対象ケースとした。また、各 ボルト孔径に対してボルト等級及び板厚を変え、合計 9ケースの試験を実施した。

標準ケースについて、試験で得られたすべり係数 を図-2に示す。試験で得られたすべり係数の最小値や 分布性状に基づけば、S14Tを用いてもS10Tと同等の すべり係数を確保できることが分かる。

なお、試験結果のすべり係数は、最大荷重時のボル ト軸力を実験開始時点で計測したボルト軸力で除して 算出したものである。また、図-2には、過年度までに 実施した試験の中から比較可能な結果も併せて示して いる。





次に、孔径を d+3.5mm 及び d+4.0mm としたケースの すべり係数を図-3 に示す。試験の結果、S10T、S14T 両者とも標準ケースと比較してすべり係数の平均値が 小さい。また、同じ母材厚 32mm でボルトの違いを比較 すると(図-4(a))、S10T よりも S14T の方が全体的に すべり係数が小さい。さらに、同じボルト S14T で母材 厚の違いを比較すると、母材厚が厚い方がすべり係数 が大きい、という結果が得られた。なお、以上のよう な違いはあるが、試験を行った9ケースいずれにおい ても、すべり係数の最小値は現行道路橋示方書の基準 値(0.45: 無機ジンクリッチペイントを塗装した場合) よりも大きい結果となった。

2. FEM による再現解析

標準すべり試験のケース 1~9 について、FEM による 再現解析を実施した。解析モデルは、材料非線形を考 慮したソリッドモデルとし(図-5)、ボルト,母材の 材料特性は材料試験結果をもとに設定した。また、母 材と連結板の摩擦(すべり)と、すべり後のボルト軸部 と母材および連結板の孔壁の支圧を再現するため、前 者の部材間には摩擦係数あり、後者の部材間には摩擦 係数なしの接触条件を設定した。メッシュサイズは3 通りに変化させたモデルの事前解析により、すべり試 験結果再現性と解析の作業性を考慮し決定した。

解析の結果を図-6に示す。すべり係数算出の結果、 解析においても試験と同様現行道路橋示方書の基準値 を満足していた。また、同じ母材厚 32mm では(図-7(a))、 S10TよりもS14Tの方がすべり係数が低く、同じボル トS14Tでは母材厚が厚い方がすべり係数が高い結果 が得られた。試験結果と関関係(図-8(a))についても、







全体的に試験結果の方がすべり係数が低いものの、ほ ぼ同等の値が得られた。

ただし、荷重-変位曲線の勾配が合わない(図-8(b)) など、標準すべり試験における現象を解析で表せてい ない応答等もあったため、今後、多様なボルト配列等 を考慮した検討に数値解析を適用するためには、局所 的なすべり挙動など詳細な検討を加える必要がある。

[今後の課題]

道路橋において使用される条件(多列での使用、支 圧接合)についても、適用の範囲をふまえた上で本解 析を実施し、検証する。共同研究の成果も含め、以上 をまとめ、設計・施工要領案をとりまとめる。

[参考文献]

 (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)、平成 18 年 12 月

[成果の発表]

国総研資料及び各種論文で発表予定。

[成果の活用]

基準等に反映させる予定。

部分係数設計法の適用性拡大に関する調査検討

Study on improvement of applicability of partial factor design method

(研究期間 平成 23~25 年度)

室長 道路研究部 道路構造物管理研究室 玉越 隆史 Road Department Bridge and Structures Division Head Takashi Tamakoshi 白戸 真大 研究官 横井 芳輝 主任研究官 Senior Researcher Masahiro Shirato Researcher Yoshiteru Yokoi 部外研究員 氏本 敦 Guest Research Engineer Atsushi Ujimoto

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

[研究目的及び経緯]

我が国の道路橋の設計基準である「橋、高架の道路 等の技術基準」(道路橋示方書)は、平成13年度の改 定において性能規定型の概念が導入されたものの、耐 荷力照査における基本書式は、従来の許容応力度設計 法を踏襲している。一方で、設計で目標とする期間に おいて橋の性能が満足されることの確からしさ等、道 路橋の要求性能を合理的にかつ定量的に照査できる設 計体系への転換が求められている。そこで、国総研で は、信頼性設計の考え方を基礎とする国際的技術基準 の書式としての部分係数設計法の体系への転換に向け 検討を進めている。

過年度までに、現行示方書の作用特性の再評価、橋 の性能の分析を行うとともに、個々の橋梁に対する信 頼性評価法を開発してきた。

今年度は、道路橋示方書・同解説(平成14年3月) による詳細設計が完了している複数の橋梁を対象にコ ードキャリブレーションを行い、設計基準における荷 重組合せ及び荷重係数の設定方法の一般化について検 討した。

[研究内容及び研究成果]

1. 対象橋梁

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

①従来から実績の多い形式(PC単純T桁橋等)
 ②実績が増えつつある新形式(鋼連続少数鈑桁橋等)

③部分係数法の導入に伴い各作用の影響度に大きな変 化が予想される形式(温度変化の影響を受けやすい 多点固定のラーメン橋等)

2. 荷重シミュレーション

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

- 100年間の間、指定した時間間隔に各荷重の確率モ デルに従い荷重を載荷する。
- ②着目断面、着目断面力ごとに、100年間で最大値となる断面力とそのときの荷重組合せ及び各荷重による断面力を抽出する。
- ③ ①~②を1,000回実施する。
- ④ 着目断面、着目断面力ごとに、1,000個の最大値に より100年最大値分布(極値分布)を作成する。

3. 荷重シミュレーションの発生荷重

荷重シミュレーションに用いる荷重は、設計で考慮 する期間(供用期間)内において、ほとんどその大きさ が変動しない永続荷重と絶えず大きさが変動する変動 荷重とする。荷重シミュレーションで考慮するそれぞ れの荷重の強度分布や発生頻度等の統計的性質のデー タベースを作成した。

荷重シミュレーションにて、死荷重(D)、土圧(E)、 クリープ(CR)のように変動が少ないと考えられる永続 荷重は、100年間で一定値とする。ただし、死荷重や土 圧は、寸法や単位体積重量のばらつきに関して考慮し、 確率密度関数を設定し、各100年毎に確率値を更新する。 その他については現行基準値を用いた。

一定値の永続荷重を載荷しつつ、表-1に示す各変動 荷重は所定の時間間隔で同時に発生させて載荷する。 各時刻で発生する変動荷重は表-1に示すような確率過 程に従う。ここに、活荷重については、全国21箇所に て調査した活荷重実態調査における統計データを基に、 模擬車列を作成し、それを橋に載荷したときの着目断 面の活荷重断面力を1000万回計算することで荷重シミ ュレーションに用いる活荷重断面力の確率分布を作成 した。

作用	発生頻度	強度
活荷重(L)	2時間毎	渋滞時間を朝夕の2回,それ 以外の時間帯を通常時とし、 渋滞時、通常時のそれぞれに おいて実測統計データを基 に、算出した活荷重断面力の 確率分布を設定
温度の影響 (T)	2 時間毎	日最高気温と日最低気温の 分布より,日最高気温と日最 低気温を各々24 時間に1回 設定し,その他の時間は正弦 波により補間(2時間毎のデ ータを使用)して算出。 温度分布は,春期(4月,5 月),夏期(6月~10月),冬 期(11月~3月)で各過去 45年の実観測記録より作成。
風荷重 (\\)	1ヶ月に1回 (発生時期はランダム)	月最大風速分布より,風速の 月最大値(10分間平均風速 V ₁₀)を月1回発生。 ただし,V ₁₀ <40m/s
風荷重 (台風)	6月 [~] 10月の間に3回 (発生時期はランダム)	6月から10月の最大風速は, 台風の影響を受けるため,国 立情報学研究所の台風デー タベースより,月最大風速分 布を作成。
地震の影響 (EQ)	1年に12回(1回/月) (発生時期はポアソン 過程)	気象庁のデータおよび宇津 の地震カタログからバック グラウンドゾーンから距離 減衰式を用いて地震動を設 定。
雪荷重 (SW)	積雪のある地域の橋梁, 10月~3月に考慮 (2時間ごと)	1.0kN/m ² 相当の断面力を確 定値として荷重組合せに加 算。

表-1 変動荷重の発生頻度と強度

4. 荷重係数の抽出・収斂

断面力の100年最大値分布の例として非合成鋼鈑桁 橋(支間長36.0m)の支間中央における曲げモーメント の100年最大値分布を図-1に示す。現行基準による断面 力はシミュレーションによる最大値分布の非超過確率 95%程度となった。その他の橋梁についても、同様に 作成した断面力100年最大値分布の非超過確率95%の 断面力と現行基準による断面力との比率の頻度分布を 図-2(1)に示す。現行基準の断面力は、概ね断面力100 年最大値分布の非超過確率95%相当であることがわか る。また、図-2(2)は、地震の影響など水平方向の作用 力が卓越する断面である橋脚柱基部の曲げモーメント に着目したものである。現行基準の断面力は、断面力 100年最大値分布の平均値相当となる傾向となった。

以上より、荷重シミュレーションにより得られた各 着目断面の100年断面力最大値分布を用いて、上部工 主桁の曲げモーメントように鉛直力が卓越する断面力 に対しては非超過確率95%、橋脚基部の曲げモーメン トのように水平力が卓越する断面力に対しては非超過 確率50%となる断面力を用いて荷重係数を検討した。

各橋梁、各断面、各断面力別に荷重組合せと荷重係 数を求めた結果は、本研究で開発した手法により集約 した。集約方法は、いわゆるタークストラ則を拡張し たものである。荷重組合せと荷重係数の集約結果を表 -2に示す。表-2は、荷重係数の一例として、22橋の上 部工主桁の断面力極値分布から求めたものである。実 態の交通量や大型車混入率が反映される活荷重は、こ れらに応じて荷重係数が幅を有するように設定できる 可能性があることがわかった。





組合せ	D	L	Т	W	EQ	SW	С
D+L	$1.0^{\sim}1.1$	$0.8^{\sim}1.4$					
D+L+C	1	0.9~1.3					1
D+L+T	1	0.7~1.2	1				
D+L+T+C	1	0.7~1.2	1				1
D+L+SW	1.0~1.1	0.9~1.3				1	

[成果の活用]

道路橋示方書等、技術基準改定のための基礎資料として活用される予定である。

構造解析手法に応じた安全率設定手法に関する調査検討

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

(研究期間 平成 23~25 年度)

道路研究音	16 道路構造物管理	研究室	室長	玉越 隆史
Road Depa	artment Bridge and	Structures Division	Head	Takashi Tamakoshi
É	主任研究官	白戸 真大	主任研究官	中洲 啓太
S	Senior Researcher N	Masanori Okubo	Senior Researcher	Keita Nakasu
石	开究官	石尾 真理	研究官	横井 芳輝
F	Research	Mari Ishio	Researcher	Yoshiteru Yokoi
立日	部外研究員	吉川 卓	部外研究員	氏本 敦
G	Guest Research Eng	gineer Taku Yoshikawa	Guest Research Eng	ineer Atsushi Ujimoto

The application of FEM to design is expected to invent structures that do not necessarily follow basic theories in mechanics and model deteriorated portions such as crack, corrosion etc in members as they are. However, most design equations and safety factors are calibrated for design that follows the beam-column theory

[研究目的及び経緯]

近年の米国における落橋事故や国内の損傷事例など を受けて(図-1参照)、平成24年度に改訂された道路 橋設計基準でも、橋の構造設計においては構造リダン ダンシーに配慮しなければならないことが規定された。 構造リダンダンシーとは、道路橋の供用期間中に設計 では考慮されない不測の外力を受けることや、損傷を 生じる可能性も否定できないことから、一部の部材の 損傷や異常によって、橋全体が不安定となったり、連 鎖的に損傷範囲が拡大して橋全体が致命的な状態に至 らないような冗長性のことである。しかし、これを定 量的に評価するための計算モデルや照査基準が示され ていない課題がある。

構造リダンダンシーの評価は、特に、部分的な腐食 や亀裂が生じるようなことを想定する場合、それらの 範囲や位置が部材耐荷力に与える影響の違いを評価で きること、及び、複雑な応力状態を考慮した評価が可 能な照査法とする必要がある。このため、構造を詳細 にモデル化できるシェル要素又はソリッド要素を用い た有限要素法の計算の適用が考えられる。

また、有限要素法による設計計算を導入するのであ れば、構造リダンダンシーの照査にだけ用いるのでな く、現在個別に実施しているその他の耐荷力設計、耐 震設計、疲労設計でも統一して有限要素を用いること を前提にした照査体系も検討することで、より合理的 な設計計算が行える可能性がある。特に、疲労設計で は、各溶接継手部に発生している応力振幅が問題にな るため、有限要素法を用いた計算となじみやすい。

他方、現在の耐荷力設計や耐震設計では、梁-柱理論

に基づく構造解析が行われている。設計基準における 耐荷力式、許容応力度、安全率等は、梁-柱理論、トラ ス理論、アーチ理論等、力学理論に基づいた計算を行 うことを前提に、部材の載荷実験結果を公称応力で評 価した結果などを用いて構築されてきたものである。 しかし、有限要素解析で得られる応力分布は、2 次応 力の影響等も含まれた局所応力であったり、要素分割 により異なることから、梁-柱理論を前提に定められて きた許容応力度や安全率と有限要素法で得られる応力 とを単純に比較することができない。

以上を踏まえて、本研究は、構造リダンダンシーの 設計手法の構築、有限要素法を用いた構造解析モデル を直接耐荷力設計に用いる方法について検討するもの である。

平成24年度は、トラス橋、アーチ橋を対象に、部材 の損傷を考慮した橋全体の安全性を試算した。



図-1 近年の損傷事例

[研究成果]

1. 解析の概要

1. 1設計手法

設計手法として、表-1 に示す 3 つの方法を整理し、 橋梁全体が不安定となるときの荷重を把握することの できる案 2 を用いて非線形解析を実施した。

1. 2解析モデル

過去にトラス橋及びアーチ橋において主構が破断し た例があることから、これらの形式を対象とした。ト ラス橋の解析モデルの概要を図-2に示す。主構、床組 をモデル化し、実際の挙動に近くなるよう、全ての格 点部をシェル要素に、それ以外の部材を梁要素でモデ ル化した。境界条件は単純支持とした。ここで、格点 部の材料構成則を図-3 に示す。斜材については図-4 に示すとおり非線形ばね要素を挿入し、破断ひずみに 達したとき、剛性0 に近い値に低下させた。解析プロ グラムは DIANA Ver.9.4.4 を用いている。

1. 3解析の手順

①はじめに健全モデルに死荷重及びB活荷重を載荷 後、応力が最大の部材を破断させる。②破断させたモ デルに、死荷重及びB活荷重を載荷して再計算し、応 力が最大となる部材が最も厳しくなるような位置にB 活荷重を載荷し、徐々に荷重を増加させ、次に破断す る部材を特定する。③以後、橋が不安定になるまで、 橋全体の剛性がゼロまたは負になる直前まで上記手順 ②を繰返す。

2. 解析結果

破断箇所数と破断が生じたときの活荷重倍率を表-2 に示す。斜材4本が破断したのち(ステップ4)、荷 重を増加させた場合には、死荷重及びB活荷重の載荷 により解析が収束しなくなった。したがって、このと き、橋全体の剛性がゼロまたは負になったものと考え られる。このときの格点の応力分布を図-6に示す非常 に大きな局部応力が発生していた。

しかし、このような手法の設計実務への適用性について、次の課題が明らかになった。

- ・全体が不安定状態となり収束しない状態なのか、数 値計算上の収束性の悪化なのか判別しにくい。
- ・格点部で詳細なモデルを適用する範囲で、計算結果 が変わってくるおそれがある。
- ・破断時の衝撃により、常時作用力と反対向きの力が かかる状態は表すことができない。

今後は、腐食の影響を考慮するなど、現実に生じ得 る橋の破壊過程を想定した試算を行う。

[成果の活用]

構造リダンダンシーの設計手法を確立し、設計基準 等への反映の基礎資料とする。

[成果の発表]

国総研資料及び各種論文で発表予定。 表-1 橋梁部材が連鎖的に損傷する状態の再現方法

- X - 1					
	案1	案 2	案 3		
損傷部材	活荷重載荷時に最もな	忘力が大きくなる部構	すを順次破断させる		
解析方法	線形解析	非線形解析	非線形解析		
照査方法	断面力を算出し、部	不安定となるまで	不安定となるま		
	材が塑性化するか否	荷重を増加	で変位を増加		
	か判定				
特徴	解析が容易	橋梁全体が不安定	部材が破断する		
	橋梁全体が不安定と	となるときの荷重	順序を追跡する		
	なるのかどうか把握	を把握することが	ことができる		
	できない。	できる			



図-2 解析モデルの設定方法



図-3 鋼材の材料構成則 図-4 非線形バネ要素 表-2 解析結果(トラス橋)

ステップ	損傷 箇所	解析が収束する限界荷重 (死荷重+B活荷重×α)
1	1 箇所	<i>α</i> =6.6
2	2 箇所	α=4.0
3	3 箇所	α=3.1
4	4 箇所	破断した段階で収束しない



図-6 Von-Mises 応力分布図 (ステップ4)

初期品質の信頼性向上策及び実品質に基づく性能評価手法に

関する調査検討

Initial and Long-term Performance Evaluation for Highway Bridges based on Bridge Inspection Data (研究期間 平成 24~26 年度)

道路研究部	道路構造物管理	研究室	室長	玉越 隆史
Road Depart	ment Bridge ar	nd Structures Division	Head	Takashi Tamakoshi
主任	壬研究官	窪田 光作	研究官	北村 岳伸
Ser	nior Researcher	Kosaku Kubota	Researcher	Kitamura Takenobu
部夕	Ւ研究員	吉川 卓		
Gu	est Research En	gineer Taku Yoshikawa	a	

To improve the accuracy of durability prediction for bridge and structures, NILIM has studied the initial and long-term performance of highway bridges. NILIM has conducted statistic analysis on distress in existing reinforced or prestressed concrete bridges based on bridge inspection data for national highway bridges. They also have conducted the on-site survey at particular bridges. NILIM also has performed an experimental study to measure creep and shrinkage using prestress concrete beam specimens with different amounts of longitudinal reinforcement.

[研究目的及び経緯]

道路橋の設計基準である道路橋示方書は,経済的か つ合理的に所要の性能が実現されるよう,そのときど きの最新知見を踏まえて改訂がなされてきている。一 方で、近年、橋のストック及びその平均供用年数が増 加するなかで、鋼橋の疲労やコンクリート橋の塩害等、 耐久性に関する知見が蓄積されつつあり、その一部は、 設計基準に反映された。

しかし、耐久性に関しては、信頼性の高い定量的な 照査手法を規定するために必要な知見が十分ではない ものも多い。そのため、現状では、設計上の目標期間を 100 年程度として、構造細目など仕様を満足させるこ とが耐久性を確保する手段の中心となっている。この ような現状に対して、本研究は、コンクリート橋の長 期挙動や耐久性と様々な外力、環境条件、及び施工品 質の関係を明らかにし、合理的で信頼性の高い長期挙 動の予測及び耐久性照査手法を確立しようとするもの である。

H24 年度は、PC 橋について、橋梁定期点検(初回) 結果の分析から、耐久性に影響を与えると考えられる 初期損傷の実態を把握した。また、PC 橋における持続 荷重・収縮に関する試験を実施した。さらに、クリー プ・収縮がコンクリート橋の初期損傷の発生や長期挙 動に与える影響を把握した。

[研究内容及び研究成果]

耐久性向上のためには初期品質の信頼性が重要であ

る。そこで、PC橋100橋程度の初回点検結果(図-1) を用いて、初期品質向上に寄与する設計基準・施工基 準を検討するために、品質及び出来形に影響すると考 えられる要因を分析した。ここに、初回点検とは、橋 の供用後2年以内に実施されることが定められた定期 点検である。図-1に、損傷が報告された橋梁数を示す。 全体の78%にて何らかの損傷が認められた。次に、損 傷が認められた橋梁を工法別・橋種別・部材別に分類 し、それぞれの分類ごとに主な損傷種別・損傷パター ン・損傷程度の傾向と支間長・桁高・主桁間隔の関係 を整理した。



整理の結果、形式、支間長、桁高、主桁間隔の違い

によらず、特に、主桁・横桁・床版においては損傷が 多い。また、損傷形態としては、ひび割れ、漏水、遊 離石灰の損傷が明らかに多くなっている。

次に、3径間連続ラーメン橋の上部工について、一 般に用いられる設計計算モデルを用いて、クリープや 乾燥収縮などの長期荷重に対して発生する応力度と、 軸方向鉄筋量の関係を分析した。分析では、上部構造 の軸方向鉄筋量とクリープ係数の組合せを変化させた 試算ケースに対して、道路橋示方書にしたがった「死 荷重時」と「設計荷重+温度時」の断面力分布と断面 内の応力分布を求めた。ここに、試算ケースは以下の 3通りである:

- ① 軸方向鉄筋を考慮せず、かつ全断面有効のコンク リート断面と仮定したケース(現在の設計実務で 用いる計算上の仮定(簡便法))
- ② 耐震設計にて考慮する鉄筋量を考慮したケース
- ③ ②に対してクリープ係数を1.5倍としたケース

図-2 に死荷重時及び設計荷重+温度時の断面下縁 の応力度を示す。死荷重時の応力度に着目すると、ケ ース①よりも②において、②よりも③において、側径 間及び支間中央にて大きな引張応力度が発生した。特 に、設計荷重時に着目すると、ケース③において、許 容応力度2.0N/mm²を大きく超過する引張り応力が生じ るという計算結果になった。現在の設計実務では、乾 燥収縮やクリープ等の長期荷重に対する発生応力を求 めるときに鉄筋の量や位置に応じてコンクリートの変 形が拘束されることの影響が考慮されていないが、計 算結果から、これらを考慮することで PC 橋の長期挙動 や断面に生じ得る損傷評価の信頼度を高めることがで きるものと期待される。



また、PC橋の長期挙動に与える持続荷重の影響を把 握するための実験も行った。プレストレス偏心量、ク リープ、乾燥収縮、鉄筋量の違いが部材内部の応力及 びひずみの違いに与える影響に着目して試験供試体

(図-3)を作成し、コンクリート及び鉄筋のひずみ、 プレストレス力、たわみ変位等を自動記録で長期にわ たり継続して計測した。



図-3 試験供試体

図-4に計測結果を示す。軸方向鉄筋比が大きいほど クリープ係数は小さくなった。ただし、軸方向鉄筋比 が0.5%の場合には無筋供試体と大きな差がなかった。



図-4 クリープ係数(軸鉄筋比の違い)

3 次元 FEM 解析を用いた実験の再現解析も行った。 解析では、過年度の同様の実験結果も対象にした。その結果、図-5 に示すように、軸方向鉄筋比が大きいほ どクリープ係数が小さくなることが分かった。



※コンタ図の結果より、軸筋比が大きい方が変形は小さい。

図-5 コンタ図(水平方向変形図、緊張後10000日) 以上より、PC橋の長期挙動は、コンクリートや骨材 などの材料固有のクリープや乾燥収縮に依存するだけ でなく、耐荷力設計の結果配置される軸方向鉄筋量に も依存するため、PC橋の長期挙動の評価ではこれらを 考慮することで設計の合理化につながる可能性がある ことが分かった。

[今後の課題]

鉄筋拘束力の影響や施工時の初期応力の影響を考慮 し、PC橋の長期挙動を評価する手法の提案を行う。

[成果の発表]

国総研資料及び土木学会等の論文で発表予定。

[成果の活用]

PC 橋の設計基準に反映予定。

道路事業における総合評価落札方式の技術評価の改善に関する検討

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

(研究期間 平成 15~24 年度)

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

> 研究官田嶋 崇志 Researcher, Takashi TAJIMA 部外研究員 馬野 浩二 Guest Research Engineer, Koji UMANO

 完室 室 長 森田 康夫
 Head, Yasuo MORITA 主任研究官 岡野 稔
 Senior Researcher, Minoru OKANO 部外研究員 上西 泰輔
 Guest Research Engineer, Taisuke UENISHI 部外研究員 中村 啓史
 Guest Research Engineer, Keiji NAKAMURA

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

[研究目的及び経緯]

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





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

本稿では、平成25年3月に行われた「総合評価方式 の活用・改善等による品質確保に関する懇談会」におい て公表した平成23年度総合評価落札方式の実施状況に ついて述べる。

[総合評価落札方式の実施状況]

平成23年度の年次報告書では、総合評価のタイプ別 に加え、これまで行わなかった工種別の詳しい分析を加 え、より多角的な視点からの分析を行った。図-2以降の 集計対象工事は8地方整備局(港湾・空港を除く)とし ている。





図-2 ではWTO(標準型)の参加者数の多さと伸びが 顕著である。一方でその他タイプについてはH17年度 から1工事あたりの競争参加者数は横ばいである。 ②落札者の「落札率-調査基準価格率」と「技術評価点の 得点率」

(1) 経年変化

図-3の4枚が示す通り、平成17年度から平成23年 度にかけて、徐々に落札率-調査基準価格率が0%に近付 いており、価格についての競争が年々激しくなっている ことが伺える。一方で技術評価点の得点率については経 年変化では顕著な差は見られなかった。



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

(2) 工種別(H23年度)

図-4 では以下の4工種について分析する。一般土木、 AS舗装、PCは、1工事あたりの工事金額が大きく、 入札参加者も多い工種については、落札率-調査基準価格 率が0%に張り付き、技術評価点の得点率も90%以上 が大半であることから、価格、技術の両面でより激しい 競争の入札が行われていることが分かる。一方、1工事 あたりの工事金額が小さく、入札参加者が少ない維持修 繕工事の落札率-調査基準価格率はばらけている。



図-4 落札者の「落札率-調査基準価格率」と「技術 評価点の得点率」(工種別)

(3)総合評価タイプ別(H23年度)

図-5 では以下の4タイプについて分析する。標準 I 型、 WTO標準型は、落札率-調査基準価格率は0%付近へ集 中している。特にWTO標準型については技術評価点の 獲得率が他のタイプに比べて高い。WTO標準型は、一 般的に工事規模が大きいこと、高い技術力が必要なこと、 入札参加者が多いこと等から、価格面、技術面双方で、 業者にとっては厳しい競争環境となっている。



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

[今後の方針]

今回、H23年度年次報告を中心に述べたが、来年 度からは、技術提案評価型と施工能力評価型の2タイ プへの総合評価タイプの二極化、段階選抜方式、技術 者ヒアリングの導入をはじめとする新方式が本格的に 実施される。

新方式と旧方式との比較による新方式の効果の検証や 更なるフォローアップの検討などを今後行っていく予定 である。

[成果の発表]

「総合評価方式の活用・改善等による品質確保に関す る懇談会」(第7回:平成25年3月26日開催)におい て公表した。

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

[成果の活用]

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

3次元CADデータに関する検討

Examination on three dimensional CAD data

	Researcher	Hisatoshi TANIGUCHI
	研究官	谷口 寿俊
	Senior Researcher	Noriaki AOYAMA
Information Technology Division	主任研究官	青山憲明
Research Center for Advanced Information Technology	Head	Koichi SHIGETAKA
高度情報化研究センター 情報基盤研究室	室長	重高 浩一
	(研究期間	引 平成 21 ~ 25 年度)

Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism has been working on developing a technique to standardize and visualize 3D data. Our aim is to establish a system that can be commonly applied in all phases of public construction processes, by standardizing information obtained from each phase of examination, design, construction and maintenance, which is then put into practice. This study is an effort about the exchange standard of 3D-CAD data as a part of CALS/EC activities.

[研究目的及び経緯]

建設事業は、公共事業の削減、社会資本ストックの 老朽化による維持管理費の増大、技術者の高齢化と熟 練者不足等の課題に加え、他の産業と比較して労働生 産性が低いことから、早急な建設生産システムの変革 が求められる。

また、近年、一般競争入札の導入に伴うダンピング 受注の増加や、不良不適格業者の参入、体制が脆弱な 発注者の存在等により、公共工事の品質低下が懸念さ れることから、品質確保のために、監督検査の強化を 図る一方、オペレータの熟練度に依存しない出来形・ 品質管理技術の導入が求められる。

本研究では、設計から施工、維持管理の業務プロセ スで得られるデータの3次元化と円滑な流通、利活用 を検討することで、ICT(情報通信技術)を活用した高 度な建設システムの実現を図るものである。

[研究内容]

(1) 橋梁の3次元データ流通に関する現場試行

平成23年度に作成した「橋梁3次元CADデータ流通 に係る運用ガイドライン」に基づき、新設橋梁の詳細 設計業務を対象として、3次元データ作成と設計照査 の現場試行を実施して効果と課題を分析した。その検 討結果を基に運用ガイドラインを修正することで、内 容をより実効的なものとした。

また、3次元データ流通の理解と普及を促進するため、試行の実績を基に、橋梁3次元データ流通の適用 事例やメリット等をまとめた事例集を作成した。

(2)橋梁の維持管理3次元モデルの作成

橋梁の維持管理に必要となる情報を設計段階で作成

した3次元モデルに統合し、各種情報を3次元の空間 的な位置関係で表示、管理できるシステムのプロトタ イプを作成した。また、現場事務所の維持管理業務担 当者にレビューを通して、有効性と課題を確認した。 (3) 3次元設計データ交換標準の導入普及支援

「3次元設計データ交換標準(案)」に関する意見照 会の結果を整理し、標準(案)を修正するとともに、 ソフトウェア開発の支援を目的として、データ作成の ノウハウ集及び3次元設計データから TS 出来形管理 データへのデータ変換に関するロジック集を作成した。

また、3次元 CAD にて導入が進んでいる LandXML への対応方針を明確化するために、「3次元設計データ交換標準(案)」に対する LandXML の利害得失を整理する とともに、「LandXML に準じた3次元設計データ交換標 準(案)」を作成した。

[研究成果]

(1) 橋梁の3次元データ流通に関する現場試行

現場試行では、「橋梁3次元 CAD データ流通に係る運 用ガイドライン」に基づき、3次元データ作成の難易 度に応じて試行レベルを3段階(表1)に分けて実施 し、その効果をアンケートとヒアリングで確認した。

	表1	試行	レベルと	実施内容
--	----	----	------	------

試行レベル	実施内容	
レベル1	構造物設置基準点の設定、座標図作成、座標図	
	を用いた設計照査	
レベル2	レベル1 + スケルトンモデルの作成	
レベル3	レベル1 + 3次元モデルの作成 + 3次元モ	
	デルを用いた設計照査	

試行の結果、現行のガイドラインで3次元データの 作成と照査の実施が可能であることを確認できたが、 コントロールポイント(構造物設置基準点と監視基準 点)、座標図の座標値点等の設定根拠が明確に示されて おらず、橋梁形式が特殊な場合、どのように設置すれ ばいいか判断に困るとの意見があったことから、コン トロールポイントや座標値点等の設定理由やその効果 を明確に記述し、設置位置の判断が可能となるよう、 ガイドラインを修正した。

また、座標図を用いた照査では、作成のコストが現 状とほぼ変わらず、照査の精度向上や手間軽減等のメ リットを得られることが確認できた一方、3次元モデ ルを用いた照査では、3次元モデルの作成コストに見 合う費用対効果は得られないとの意見があった。

そのため、座標図の運用は、問題なく普及可能であ り、今すぐ導入すべきとの意見もあったが、3次元モ デルについては、設計照査以外の活用方法を整理し、 作成コストに見合う3次元モデル作成のメリットを明 確に示した上で普及させる必要があると考え、橋梁3 次元データ流通の事例集を作成した。

(2) 橋梁の維持管理3次元モデルの作成

作成したプロトタイプを図1に示す。現場担当者か らは、維持管理業務において、点在した情報を3次元 モデルに統合して空間的にアクセスできると共に、点 検結果と3次元モデルを双方向に関連付けて参照でき れば非常に便利であるとの評価が得られた。また、地 形の詳細な情報や現況を確認できる多くの写真データ、 施工時の仮設残置物や水道管等の添架物、占用物件等 を3次元モデルで確認できることを期待する意見が多 数挙げられた。 一方、既存システム(MICHI や全国道路橋データベ ース等)との連携を求める意見も多く、3次元モデル をプラットフォームとして既存システムの管理情報を 関連付ける等、システム間の連携について検討が必要 である。

(3) 3次元設計データ交換標準の導入普及支援

建設コンサルタンツ協会、日本建設業連合会、CAD ベンダー、測量機器工業会等に対する意見照会結果及 び情報化施工に活用するための調査検討結果に基づい て「3次元設計データ交換標準(案)」を修正した。加 えて、3次元 CAD にて LandXML の導入が進んでいる現 状を考慮して、LandXML1.2のスキーマに準じて表記し た「LandXML に準じた3次元設計データ交換標準(案)」 を作成すると共に、我が国の標準をグローバルに主張 する資料として「3次元設計データ交換標準(案)に 準じた LandXML1.2 拡張案」を試作した。

ノウハウ集には、サンプルデータを断面定義パター ンと要素定義パターンの双方で10例程度作成し、作 成における改善案 (データ作成において工夫するポイ ントおよび留意点等)を記載した。一例を図2に示す。

さらに、3次元設計データから TS 出来形管理デー タ交換標準へのデータ変換について、自動処理の困難 な箇所のロジックを検討し、その結果を取りまとめて ソフトウェア開発の参考となる資料を作成した。

[成果の発表]

平成25年度に「3次元設計データ交換標準(案)」 及び「橋梁3次元CADデータ流通に係る運用ガイドラ イン」を公表する予定である。

[成果の活用]

CIM におけるデータ流通の標準として、本成果を活 用する。また、維持管理で利用する3次元モデルにつ いて、分散して管理されている既存システムの統合デ ータ管理プラットフォームとして活用できるように本 成果をもとに検討を進めていく。



図1 橋梁の維持管理3次元モデルのプロトタイプ



図2 ノウハウ集のサンプルデータ例

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 23~26 年度)

高度情報化研究センター Research Center for Advanced Information Technology 情報基盤研究室 Information Technology Division 室長重高浩一HeadKoichi SHIGETAKA主任研究官梶田洋規Senior ResearcherHiroki KAJITA研究官北川順ResearcherJun KITAGAWA

It is necessary to perform the making of three-dimensional design data to input into Intelligent Construction Systems effectively and to use three-dimensional measurement data output by Intelligent Construction Systems to increase an effect of Intelligent Construction. This study is a design of "the product model" to become the standard of data in the making of three-dimensional design Input-data and the use of Output-data.

[研究目的及び経緯]

国土交通省(以下、「国交省」という)では、社会資本整備重点計画に掲げられた「情報通信技術(ICT)等を活用した社会資本の高度化」の一環として、ICTを利用した「情報化施工」の導入・普及による社会資本整備や管理の高度化を目指している。国交省で取り組んでいる情報化施工は、「3次元 CAD 技術(3次元設計データ)、3次元位置計測技術、建設機器技術」を活用し、生産性向上・品質確保・技術者判断支援などの効果を得ている。しかし、3次元設計データの作成が課題になっており、また、施工時に取得できる電子データを後工程(維持管理など)で有効活用できていないため、導入効果が施工場面に限られている。そのため、情報化施工に搭載するデータの効率的な構築方法と情報化施工で取得したデータを後工程で有効利用し効果を得る方法の構築が望まれている。

国土技術政策総合研究所では、情報化施工技術の1 つとして、3次元測量機器であるトータルステーショ ン(TS)を用いた出来形管理について研究している。 この技術は、TSに搭載するソフトウェアに3次元設計 データ(基本設計データ)を取り込むことで、「計測位 置への誘導、計測と同時に設計値との差を表示、計測 データによる帳票の自動作成」等が行え、現場計測や 帳票作成で大きな効率化を図ることができる。当研究 室では、基本設計データと3次元計測データを併せ持 つ「施工管理データ」の仕様を定めた「TSによる出来 形管理に用いる施工管理データ交換標準(案)」(以下、

「TSデータ交換標準」という)を策定している。

本研究は、TS データ交換標準 Ver.4 に準拠した3次 元設計データの効率的な作成方法、及び取得データの 後工程での利用を図るための検討を行うものである。

[研究内容·研究成果]

1. データ流通に向けたプロダクトモデルの検討

基本設計データは、3次元形状の基となる座標値と 共に、その点の意味や出来形計測箇所等の情報も入力 して作成する。出来形管理帳票上は「長さ、幅、高さ」 等を数値で扱うのみだが、TS データ交換交換標準 Ver.4 に準拠した基本設計データを3次元ビューした 際の見栄えは、データの作り方で変わってくる。その ため、設計~施工~維持管理の関係者間で、効率の良 いデータ作成や後工程でのデータ利用といった情報流 通·共有を図るためには、見本となる標準の3次元モ デルが必要である。また、3次元設計データの作成が 課題にあげられる一因に不慣れがあることから、標準 モデルは作成時の一助となる。そこで、出来形管理時 のデータ作成とそのデータの後利用時の基盤となるデ ータのプロダクトモデルについて、代表的な土木構造 物である「一般舗装工、縁石工、排水構造物工、電線 共同溝工、擁壁工、石・ブロック積(張)工」を対象に データ作成の手間と見える化の度合い毎の標準案を提 案し、長所短所を比較整理した(表1、図1)。

表1 プロダクトモデルのコンセプト

	プロダクトモデルの着目点
出来形	・施工中の丁張設置等での利用
管理	・基礎工等、対象となる工種の位置決めが必
	要となる工種の管理
	・形状を詳細に表現
維持	・工事完成図書への利活用
管理	・構造物の材料や型式等の属性情報を管理
	・築堤法線や地下埋設物等の工種別に維持管
	理に必要な情報

2. 基準点・用地境界等のデータ流通・活用

「基準点、工事基準点、用地境界」のデータは、過 年度の調査より、少ない情報であるが後工事で有益な 情報となる知見が得られている。そこで、技術資料の 調査および施工者ヒアリング結果を通じて流通に効果 がある情報を抽出し、基準点 XMLのコンセプトを考案 した(図2)。属性や構造は、TSデータ交換標準 Ver.4 との相互利用を考慮した形とした。



図2 基準点XMLのクラス図案

[成果の発表]

- ・平成25年1月に、「TSによる出来形管理に用いる 施工管理データ交換標準(案)Ver.4.1」、3月に対応す る「出来形管理用トータルステーション機能要求仕 様書」及び「TSによる出来形管理に用いる施工管理 データ作成・帳票作成ソフトウェアの機能要求仕様 書」を策定し、国総研HPで公表。
- ・各種学会や雑誌に投稿済み。

[成果の活用]

策定したデータ交換標準 Ver.4.1 や対応する機能要 求仕様書に基づき、ソフトが開発され、平成25 年度よ り直轄工事にて活用される予定である。

		利用場面	プロダクトモ	デルイメージ
出来形管理	案 1	 ・舗装の幅、厚さ、基準高の出 来形管理 ・付属物工の延長、出来形管理 ・中央分離帯・縁石の丁張り(位置だし)に利用 	 ・各層の舗装構成を作成。 ・歩道部の形状作成。 ・付属構造物(中央分離帯や縁石)の形状作成 ・中央分離帯の切れ目も作成。 	
	案 2	 ・舗装の幅、厚さ、基準高の出 来形管理 ・付属物工の延長、出来形管理 ・中央分離帯・縁石の丁張り(位 置だし)に利用 	 ・各層の舗装構成を作成。 ・歩道部の形状作成。 ・付属構造物(中央分離帯や縁石)の形状作成 	
	案 3	・舗装の幅、厚さ、基準高の出 来形管理 ・付属物工の延長、出来形管理	 ・各層の舗装構成を作成。 ・歩道部の形状作成。 ・付属構造物の形状は作成しない。(出来形管理は延長の設定により可能) 	J
維持管理	案 4	 ・工事完成平面図へのデータ受け渡しのために、取得可能な地物を対象に基本設計データの作成を実施する。 	 下記に示す10地物の設計形状を 作成する。 道路中心 ・距離標 ・測点 ・車道部 ・車道交差点 ・島 ・歩道部 ・盛土法面 ・切土法面 ・擁壁 	,d

図1 一般舗装工のプロダクトモデル4案(イメージ)

道路橋に作用する津波外力の検討

Study on tsunami wave force acting on highway bridges

(研究期間 平成 24~26 年度)

危機管理技術研究センター地震防災研究室	室長	金子 正洋
Research Center for Disaster Management	Head	Masahiro KANEKO
Earthquake Disaster Prevention Division	主任研究官	片岡 正次郎
	Senior Researcher	Shojiro KATAOKA
	主任研究官	長屋 和宏
	Senior Researcher	Kazuhiro NAGAYA

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

[研究目的及び経緯]

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

24 年度は、日本の太平洋岸に来襲した津波の履歴を 文献等の調査をもとに整理するとともに、東北地方太 平洋沖地震の津波(以降、東北津波とよぶ)に影響を 受けた道路橋を対象に津波の再現解析を実施し、作用 した津波外力と抵抗力の比較により、橋に作用した津 波の推定結果を検証しその特性を検討した。

[研究内容]

1. 津波履歴の調査・整理

歴史地震も含め、日本の太平洋沿岸に来襲した津波 の履歴を文献等の調査により整理した。文献としては 「日本被害津波総覧(第2版)」や「津波の事典」、調 査報告等を幅広く調査するとともに、津波痕跡データ ベース(http://tsunami3.civil.tohoku.ac.jp/)を参照した。

2. 道路橋に作用した津波の特性の検討

東北津波の影響を受けた道路橋を対象に、詳細な地 形モデルを用いた津波伝播・遡上解析を行い、対象構 造物周辺の津波(高さ・流速・流向)を再現した。さ らに、水理模型実験を数値シミュレーションにより実 施する数値波動水路とよばれる数値モデルの内部に対 象構造物をモデル化し、上記で再現した津波を入力し て対象構造物に作用させる数値シミュレーションを実 施することにより、対象構造物に作用する津波外力を 算出した。得られた津波外力と抵抗力の比較により津 波の推定結果を検証するとともに、道路橋に作用した 津波の特性を検討した。

[研究成果]

1. 津波履歴の調査・整理

西暦 869 年の貞観地震津波以降、17 の地震による津 波の高さを表と地図上に整理した。その結果、複数の 地震による津波高さが計測されている地点を比較する と、どの地震の津波でも津波高さが大きい地点と比較 的小さい地点に分類される傾向があり、従来から指摘 されているように地形の影響(V字状の湾やリアス式 海岸等で津波が大きくなる)が見られた。

ただし、複数の津波高さが比較可能な地点は限られ ており、特に歴史地震では計測値の信頼性が劣るため、 今後、数値シミュレーションにより地形が津波高さに 与える影響を定量的に把握していく必要がある。

2. 道路橋に作用した津波の特性の推定

例として、新相川橋(宮城県北上町)を対象とした 推定結果を示す。本橋は橋長 67.5mの鋼単純箱桁橋で あり、幅員は 11m、海側と山側の桁高はそれぞれ 2.5m、 2.9m である。津波で上部構造が浮き上がり、引き波に より海側に移動したという目撃談が得られている。

津波伝播・遡上解析により得られた津波の波高・流 速分布を図-1に示す。新相川橋に来襲した津波は最大 浸水深 14.2m、最大流速 2.0m/s、路面高を超えた時間 は4分間と推定された。津波が陸域を遡上した速度は ビデオ映像の解析から平均 6m/s 程度と推定されてお り、この地点では津波の流速が小さい特徴がある。

この津波を入力して新相川橋に作用させた数値波動 水路解析結果から上部構造に作用した鉛直方向の津波 外力の時間的変化を算出したものが図-2 である。図に は上部構造の上向き抵抗力(設計図から算出した支承 の鉛直方向終局耐力と上部構造重量の和)をあわせて 示してあるが、波力が抵抗力を大幅に上回っている。 なお、水平波力は支承の水平方向終局耐力の 1/20 程度 であり、津波で上部構造が浮き上がったという目撃談 と一致する結果と考えられる。

同様の解析を10の道路橋を対象に実施し、水平波力 と水平方向の抵抗力の比、鉛直波力と上向き抵抗力の 比を比較したものが図-3である。上部構造の断面形状 が変化したり、一部のみ流出したりしている場合には 同じ橋でも複数の上部構造として示されている。この 図によると、流出した上部構造は、小泉大橋を除き、 波力-抵抗力比のうち水平と鉛直少なくとも一方が1 を超えており、流出していない上部構造はいずれの比 も1を下回っている。小泉大橋については、地震動の 影響や海側の支承から順に破断したことで流出に至っ た過程が詳細な再現解析によって示されている。

以上のことから、これらの道路橋に来襲した津波の 推定結果は被害状況と整合しており、信頼できる結果 と考えられる。各地点での浸水深と津波の時間的変化 を示すと図-4のようになり、水面の上昇速度は毎分1 ~2m 程度であることがわかる。したがって、水面は 比較的ゆっくりと上昇しており、各地点に来襲した津 波は段波状ではなかったと推測される。また、流速は 最大で 6~8m/s 程度であり、前述のビデオ映像解析で 得られた平均 6m/s と整合する結果となっている。

このように、限られた地点ではあるが、東北津波の 特性を把握することができた。今後は、東北津波に加 え、将来発生が想定されている巨大地震の津波の特性、 並びに道路橋の設計に用いる津波作用の検討を進める 必要がある。

[成果の発表]

上部構造と橋脚が流出した道路橋の地震・津波被害再 現解析,土木学会論文集 A1, Vol. 69, No. 4, 2013.









巨大地震を対象とした設計地震動の検討

Study on design earthquake motion taking account of giant earthquakes

(研究期間 平成 23~25 年度)

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

室長	金子 正洋
Head	Masahiro KANEKO
主任研究官	片岡 正次郎
Senior Researcher	Shojiro KATAOKA
主任研究官	長屋 和宏
Senior Researcher	Kazuhiro NAGAYA
研究官	松岡 一成
Researcher	Kazunari MATSUOKA

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

[研究目的及び経緯]

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

24 年度は、地震動推定式の巨大地震への適用性を検 討し改良を図るとともに、強震観測施設の維持管理を 行い強震記録の取得を継続した。また、今までに得ら れた記録を用いて水平力分散構造の高架橋の地震応答 解析を行い、入力損失の特性を検討した。

[研究内容]

1. 地震動推定式の改良検討

電磁式強震計が普及してきた 1988 年以降の内陸地 震(M5.5以上)、海溝型地震(M6.5以上)を対象に、国 土交通省、気象庁、(独)防災科学技術研究所の強震記 録を収集・整理し、東北地方太平洋沖地震を含む巨大 地震に適用可能となるよう、地震動推定式の改良を検 討した。

2. 強震観測施設の維持管理

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

3. 強震記録に基づく入力損失の特性の検討

東北地方太平洋沖地震では短周期帯で設計スペクト ルを超える強震記録が多数得られた一方で、これらの 記録が得られた観測点の周辺では橋の大きな被害は報 告されていない。その原因として入力損失(地震波が 構造物に入射する際、基礎の剛性が周辺地盤よりも高 いために地震動が反射し、構造物に入力される地震動 が低減する現象)が考えられることから、今までに得 られた強震記録を活用し、入力損失の特性を検討した。

[研究成果]

1. 地震動推定式の改良検討

計3586 観測点で得られている84899 記録を収集し、 地震動強度や震源距離等の基準で回帰分析に用いる 強震記録を選別した結果、計1994 観測点で得られた 124 地震の12007 記録を用いることとした。最大加 速度、最大速度、SI 値、計測震度の4指標を対象に、 次の回帰モデルを用いた回帰分析を行い、地震動推 定式を作成した。

 $log_{10}Y = a_1 Mw + a_2 D - bX + c_0 - log_{10}(X + d \cdot 10^{0.5 Mw}) + c_1$ ここで、Y は地震動強度、Mw はモーメントマグニチ ュード、D は震源深さ [km]、X は断層最短距離 [km]、 a_1, a_2, b, c_0, d は回帰係数、 c_1 は観測点ごとの揺 れやすさを補正する係数である。

作成した地震動推定式による SI 値の推定結果と 東北地方太平洋沖地震の観測値(Ⅱ種地盤上)を比 較したものが図-1 左である。観測値のばらつきは大 きいものの、Ⅱ種地盤上の値になるよう地盤補正し た推定式は観測値の平均的な傾向をよく表している。 内閣府が公表している南海トラフ巨大地震の推定地 震動(工学的基盤上)と比較したものが図-1 右であ るが、ここでも工学的基盤上の値になるよう地盤補 正した推定式は平均的な傾向とよく一致している。

したがって、今回作成した地震動推定式は、Mw9.0 程度まで適用可能と考えられるが、南海トラフ巨大 地震の推定地震動もばらつきが大きいため、深部地 盤構造の影響を別途評価する等の検討が必要である。

2. 強震観測施設の維持管理

強震観測施設の点検の結果、多くの箇所では感震器、 収録装置とも良好な状態で稼働していることを確認し た。また、不具合が見られた一部の機器については、 状況に応じて修繕を行った。

3. 強震記録に基づく入力損失の特性の検討

国道 45 号曽波神高架橋では、杭基礎のフーチング上 とその周辺の地表面で 24 年度より強震観測を実施し ており、最近発生した中小地震の際の揺れが記録され ている。図-2 はそのうち良好な記録が得られた 5 つの 地震を対象に、フーチングと地表面で得られた地震動 の NS 成分のスペクトル比を算出したものである。周 期約 0.5 秒以下の短周期成分で比較すると、変動は大 きいものの、平均的にはフーチングでは地表面の 0.5 倍程度にまで低減していることがわかった。

この現象を再現するため、曽波神高架橋の構造と周辺地盤を図-3のように簡易にモデル化し、地震応答解析を実施した。フーチングは剛部材とし、モデルの底面は水平方向のみ粘性境界とした。

2013年2月2日に発生した十勝地方南部地震(M6.4) の際に地表面で得られた記録を基盤層に引き戻して図 -4 のモデル底面に入力する地震応答解析を実施した。 得られた結果をスペクトル比として図-4に示すが、解 析結果も観測値と同様に短周期では低減していること がわかる。ただし、観測値には周期0.1~0.2秒で1を 超える部分があること、解析結果にはごく短周期と周 期1~2秒に構造物の応答に起因すると思われるピー クがあるところが異なっている。今後、再現性を高め るとともに、地震動の振幅、地盤の堅さや基礎の大き さによって入力損失がどのように変化するかを調査す る予定である。

[成果の発表]

設計地震動,特集:道路橋示方書 IV 下部構造編・V 耐震設計編,基礎工, Vol. 40, No. 9, pp. 51-54, 2012. 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による強震 記録,国土技術政策総合研究所資料, No. 749, 2013.

[成果の活用]

次期道路橋示方書の改定に反映。







図-2 NS 成分のスペクトル比(フーチング/地表面)





