

領域4：コスト構造を改革し、
道路資産を効率的に形成する（つくる）

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

星隈 順一
Junichi HOSHIKUMA
白戸 真大
Masahiro SHIRATO
宮原 史
Fumi MIYAHARA
松村 裕樹
Guest Research Engineer Yuuki MATSUMURA

NILIM has studied a risk assessment method to prevent road furniture from falling down that could hurt people under the bridge. This paper proposes a risk assessment method for the collapse of road furniture with consideration of structural redundancy and deterioration. Some trial calculations have shown that the proposed method can compare the change in the collapse risk when changing structural details for a typical sign structure.

[研究目的及び経緯]

本研究は、道路構造物の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評価手法が確立されていない構造冗長性（リダンダンシー）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。

道路構造物のうち、標識・照明柱などの「非構造部材」は、落下、倒壊すると第三者被害に直結する可能性がある一方、構造系の単純さから、部材の数や配置に配慮して構造冗長性を改善することで第三者被害リスクを低減できる可能性が高い。そこで本研究では、非構造部材に着目し、構造冗長性を考慮したリスク評価法を提案した。提案した評価法は、非構造部材の落下、倒壊を FT (Fault Tree) を用いてモデル化した上で、FT の基本事象の発生確率の設定に初期品質のばらつき、経年劣化のばらつきも考慮し、リスクの経年変化を評価するものである。また本研究では、提案した評価法を標識板の落下に適用し、その有効性を示した。

[研究内容及び成果]

1. 非構造部材の落下、倒壊事故事例調査

非構造部材の落下、倒壊リスクをモデル化するにあたり、モデル化する必要がある部位を絞り込むとともに、落下、倒壊事象と因果関係を有する事象を絞り込む必要がある。そこで、文献等で過去の落下、倒壊事故事例を調査した。

表 1 に示すように、事故が発生する原因となった破壊箇所はいずれも部材同士の接合部か基部であった。

表 2 には事故原因を作用（荷重等）側と抵抗側に分けて整理した。抵抗側に着目すると、想定される原因は初期強度のばらつき（材料や施工の品質のばらつき）と経年劣化に分類できた。

表 1 事故が発生する原因となった破壊箇所

分類	破壊箇所
部材接合部	ボルト(6)、ピン(4)、その他の取付金具(11) コンクリート付着(4)、溶接部(3)、接着部(3)、 埋込部(3)、岩綿付着(1)
基部	柱基部(19)

()内は件数を表す

表 2 事故の発生原因として想定された事象

分類	発生原因として想定された事象	
作用側	強風(16)、車両衝突(2)、乾燥収縮(1)、 その他の荷重(3)	
抵抗側	初期強度	ピンの引抜き抵抗力のばらつき(1)、 接着材強度のばらつき(1)
	経年劣化	腐食(24)、亀裂(4)、樹脂の劣化(2)、 疲労(2)、接着材の劣化(1)

()内は件数を表す

2. リスク評価法の提案

本研究では、非構造部材の落下、倒壊リスクを評価するにあたって、構造冗長性を考慮した検討と親和性が高いと考えられる FT (Fault Tree) を用いてモデル化することを提案する。図 1 に示すように、1.の結果を踏まえ部材同士の接合部と基部の破壊に着目して、構造系全体から接合部へ、各接合部からそれを構成する各パーツへというように、階層ごとに FT を構築することで、構造冗長性を表現することが可能である。また、リスク評価にあたっては以

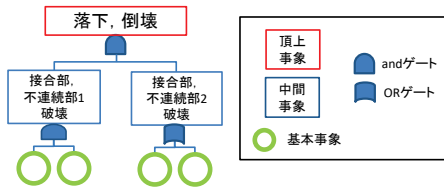


図1 非構造部材の落下、倒壊を表すFT

下のパラメータを考慮することを提案する。

- ・初期強度の期待値及びばらつき
- ・経年劣化の速度の期待値及びばらつき
- ・維持管理行為の頻度と内容

設計段階で、本リスク評価法を用いてリスクの観点から優位になるよう使用材料の選定、構造形式の選定、部材接合部の数や位置の選定、前提とする維持管理行為の設定が行われることが期待される。

3. FT (Fault Tree) を用いたリスク評価の一例

代表的な例として、標識板の落下を取り上げ、図2に示すFTを用いたリスク評価の一例を示す。FTから、2本のボルトが同時に破壊した場合のみ標識板が落下する。また、一定の頻度で行う点検時に破壊しているボルトは、その都度交換されると仮定する。なお、以下の試算で用いる初期破壊確率や経年劣化の速度は、根拠がない仮定値である。このため、試算結果からリスクの基本的な傾向は考察できるものの、試算結果の

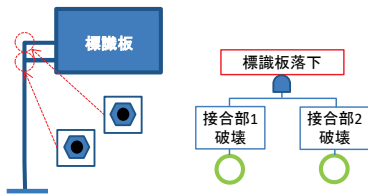


図2 標識板落下のFT (F型(接合部2, ボルト1))

表3 試算ケース1

	ボルトの初期破壊確率		ボルトの破壊確率の上昇値			点検間隔
	平均値	標準偏差	下限値	平均値	上限値	
ケース1-1	0.03~ 0.15	0.01	0.015	0.02	0.025	5年
ケース1-2	0.03~ 0.15	0.01	0.005	0.01	0.015	5年
ケース1-3	0.03~ 0.15	0.01	0.025	0.03	0.035	5年

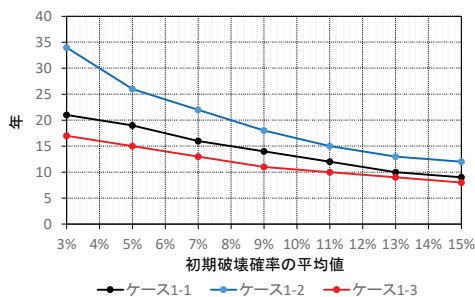


図3 寿命の平均値 (初期破壊確率に着目)

絶対値は意味をなさない。試算で用いるパラメータ設定のためのデータ蓄積は今後の課題である。

まず、表3のケース1-1~1-3に示す個々のボルトの破壊確率及び点検間隔の設定でリスク評価を行った。それぞれのケースで、ボルトの初期破壊確率の平均値を2%ずつ変化させ、構造系の状態の経年変化に関してそれぞれ1,000回のモンテカルロシミュレーションを行った。得られた構造系としての寿命の平均値を図3に示す。図4から、初期品質を改善するにつれ寿命が長くなる傾向があることが確認できる。特に経年劣化の速度が比較的小さいケース1-2では初期破壊確率を10%以下にすると寿命が大幅に長くなることから、初期品質を改善することによるリスク低減効果が大きいことが分かる。一方、経年劣化の速度が比較的大きいケース1-1, 1-3では初期破壊確率を小さくしてもケース1-2と比較して寿命が長くなり、初期品質の改善によるリスク低減効果に限界があることが分かる。

次に表4のケース2に示す設定で、点検間隔を2年ずつ変化させ、それぞれ1,000回のモンテカルロシミュレーションを行った。得られた構造系としての寿命の平均値を図4に示す。図4から、点検間隔が短くなるにつれ構造系としての寿命が長くなる傾向があることが確認できる。本ケースとケース1-1~1-3の結果の対比からは、経年劣化速度が比較的大きく、初期品質の改善によるリスク低減効果に限界がある条件においても、点検間隔を短くすることで大きなリスク低減効果を期待できる可能性があることが分かる。

表4 試算ケース2

	ボルトの初期破壊確率		ボルトの破壊確率の上昇値			点検間隔
	平均値	標準偏差	下限値	平均値	上限値	
ケース2	0.05	0.01	0.015	0.02	0.025	2年~ 10年

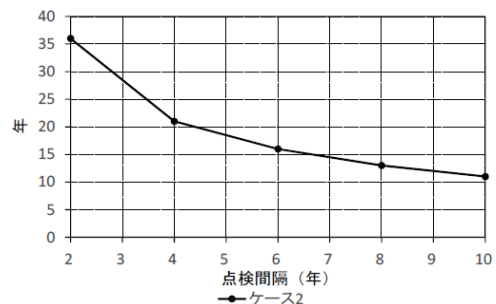


図4 寿命の平均値 (初期破壊確率に着目)

【今後の課題】

本研究で提案した方法論の設計実務への導入を図る。

【成果の発表】

各種論文で発表済み。国総研資料としても発表予定。

【成果の活用】

道路標識に関する技術基準類に反映する。

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

白戸 真大

Senior Researcher

Masahiro SHIRATO

研究官

河野 晴彦

Researcher

Haruhiko KOUNO

交流研究員

正木 守

Guest Research Engineer Mamoru MASAKI

室長

Head

研究官

Researcher

交流研究員

Guest Research Engineer

交流研究員

Guest Research Engineer Ryota NAKAMURA

星隈 順一

Junichi HOSHIKUMA

宮原 史

Fumi MIYAHARA

窪田 真之

Masayuki KUBOTA

中邨 亮太

To ensure required bridge performance based on reliability, NILIM has studied partial factor design for road bridges. The present study has proposed and verified the validity of load combination factors and load factors for different types of bridges.

〔研究目的及び経緯〕

国土技術政策総合研究所（国総研）では、信頼性設計の考え方を基礎とし、国際的技術基準の標準書式でもある部分係数設計体系への転換を視野に、道路橋の技術基準の見直しに必要な検討を進めてきた。

荷重係数や荷重組合せの設定方法については、ISO2394にB-C(Borges-Castanheta)モデルやTurkstra法といった理論的手法や経験的手法が紹介されているが、それらの方法を実際に適用して荷重係数や荷重組合せ係数を包括的に検討した例は少ない。国総研では、平成 25 年度までに、B-C モデルに基づいた荷重同時載荷状況の確率過程をモンテカルロシミュレーションで再現する方法を提案し、また、約 20 橋の橋に対してシミュレーションを実施した結果から Turkstra 法の考え方をもとに橋に影響を与える荷重組合せとそれに対応する荷重係数を同定する方法を提案した。

本研究は、道路橋が様々な路線条件、環境条件、構造条件に対して設計されることを考慮し、幅広く一般の橋に適用できるように荷重係数と荷重組合せ係数を精査し、信頼性の向上を図るものである。

そのために、過年度までに提案したモンテカルロシミュレーションで用いた活荷重や風荷重といった荷重の持続特性や頻度分布について精査し、また、対象とする橋梁数を増やして検証計算を実施することで信頼性の向上を図った。

〔研究内容及び研究成果〕

1. シミュレーション方法の検討

国総研では、荷重の作用過程を考慮するためにモンテカルロシミュレーションを用いる以下の方法を提案している。これは、設計供用期間に時々刻々と変化する作用の組合せに対して、断面力とそこに占める各作用の寄与分の内訳の変化を把握するために、B-Cモデルが考慮しているように一定時間間隔で同時載荷状況を離散化し、確率過程としての荷重同時載荷シミュレーションを実施するものである。そして、代表的な断面における断面力の供用期間最大値を求め、100年間のモンテカルロシミュレーションを1000回繰り返し、各断面の断面力100年最大値分布（極値分布）を作成するものである。1000回繰り返すのは断面力最大値の標本依存性をなくすためで、別途、感度解析を実施した上で各種荷重の極値を取りこぼす可能性が低いことを確認している。

図1に、シミュレーションのイメージ図を示す。

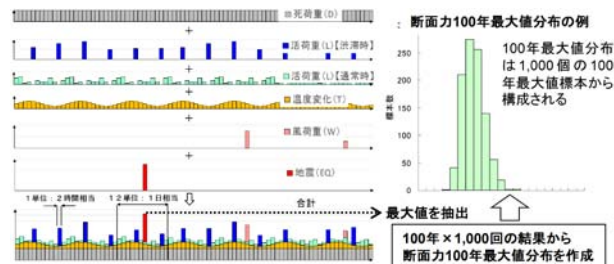


図1 シミュレーションのイメージ図

全着目断面と着目断面力それぞれから、予め設定する非超過確率の範囲内にある断面力100年最大値標本を抽出し、断面力の100年最大値を与えた荷重組合せとその時の荷重係数の標本を得たのちに、Turkstra法の考え方に基づいて起こり得る荷重組合せとそのときの荷重係数の取り得る範囲を絞り込む。

Turkstra法は、着目する変動荷重の一つを固定したときに、その他荷重は必ずしも最大値を重ねる必要はなく、平均値程度にするのがよいという経験則である。このTurkstra法の考え方を利用すれば、ある変動荷重1つに着目したときに、その他の荷重の荷重係数が0.1以上となるときの荷重組合せを抽出し、着目変動荷重の荷重係数の範囲とその荷重に対して重なるその他の変動荷重の種類と荷重係数の範囲を整理することを全ての変動荷重に対して行うことでもれなく主要となる荷重組合せを抽出できると考えた。

2. 対象橋梁

シミュレーションは、橋の種類や形式に出来るだけ依存しないよう以下の①～③の観点で選定し、過年度より40橋ほど多い全60橋を対象とした。

- ① 従来実績が多い形式（鋼鈹桁やPCT桁など）
- ② 近年実績が増えつつある形式（鋼少数鈹桁や波型鋼板ウェブ箱桁など）
- 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生じると予想される形式（鋼床版箱桁、PC連続ラーメン箱桁など）

3. 荷重組合せと荷重係数のシミュレーション結果

表1に、得られた荷重組合せおよび荷重係数を示す。シミュレーションの結果、上部構造主桁のうち地震の影響を受けない着目断面の断面力100年最大値分布は、収束性が特に高い結果（最大値分布の変動係数が10%以下と設定）となり、対象橋梁の着目断面の8割で現在の道路橋示方書の規定に従い算出した断面力は100年最大値分布の非超過確率95%値に相当した。一方で、ラーメン橋の主桁及び下部構造の橋脚のように地震の影響を受ける着目断面の断面力100年最大値分布は収束性が低い結果（最大値分布の変動係数が20%以上と設定）となり、現行の道路橋示方書に規定に従い算出した断面力を許容応力度の割り増し係数で除した値は、大半の橋梁や断面で100年最大値分布の平均値から平均値-0.5σの付近に相当している。そのため、最大値分布の収束性が高い場合は断面力100年最大値分布の非超過95%値、最大値分布の収束性が低い場合は断面力100年最大値分布の平均値および平均値-0.5σ値を基準として、荷重組合せと荷重係数を整理した。

表1内の着色部は、荷重係数の大半の抽出値が小さいものを示している。

W（風荷重）とEQ（地震の影響）が同時に作用する組合せは発生しなかった。また、D（死荷重）+EQの組合せに対してL（活荷重）を、D+EQ+SWの組合せに対してL, TH（温度荷重）を、D+TH+EQの組合せに対してLを重ねる必要はないとみなせる。重なる荷重の種類が増えると荷重係数の値が小さくなる傾向が見られ、各荷重の最大値の単純和を取ったものとはならない。

例えば、D+LとD+L+Wの組合せにおけるLの荷重係数はD+L+Wの組合せの方が小さい。また、D+L+THとD+L+TH+SWにおけるTHの荷重係数は、雪荷重(SW)を含む場合は荷重係数が小さい傾向を示した。

表1 荷重組合せと荷重係数の算出結果

荷重組合せ	抽出位置	D	L	TH	W	EQ	SW	該当数
D+L	95%値	0.97~1.09 (1.04)	0.62~1.24 (0.96)					46橋272断面 標本数 5739
D+L+SW	95%値	1.00~1.08 (1.04)	0.66~1.24 (0.84)				1.00	5橋31断面 標本数 527
D+EQ	平均値	1.01~1.07 (1.04)	0.01~0.54 (1.03)			0.88~1.10 (1.06)		19橋31断面 標本数 114
	平均値-0.5σ	1.00~1.07 (1.04)	0.01~0.62 (0.03)			0.57~1.03 (0.83)		20橋39断面 標本数 136
D+EQ+SW	平均値	1.01~1.07 (1.03)	0.01~0.22 (0.01)	0.01~0.39 (0.14)		0.88~1.08 (0.94)	1.00	3橋9断面 標本数 31
	平均値-0.5σ	1.01~1.07 (1.03)	0.01~0.64 (0.03)	0.02~0.37 (0.18)		0.31~0.83 (0.70)	1.00	3橋10断面 標本数 55
D+L+TH	95%値	1.00~1.08 (1.03)	0.73~1.24 (0.95)	0.10~0.93 (0.48)				9橋29断面 標本数 333
	平均値	1.02	0.95	0.38~0.58 (0.48)				1橋1断面 標本数 2
	平均値-0.5σ	1.01~1.04 (1.03)	0.84~0.85 (0.85)	0.16~0.51 (0.40)				1橋2断面 標本数 5
D+L+TH+SW	95%値	1.00~1.05 (1.02)	0.83~1.22 (0.96)	0.10~0.74 (0.27)			1.00	3橋7断面 標本数 58
	平均値	1.01~1.03 (1.02)	0.91~0.98 (0.91)	0.18~0.23 (0.20)			1.00	1橋2断面 標本数 4
	平均値-0.5σ	1.00~1.03 (1.03)	0.77~1.07 (0.78)	0.18~0.30 (0.21)			1.00	1橋3断面 標本数 7
D+L+W	95%値	1.03~1.07 (1.05)	0.60~0.89 (0.67)		0.22~1.26 (1.11)			2橋4断面 標本数 15
	平均値	1.05~1.06 (1.06)	0.55~0.75 (0.65)		1.33~1.57 (1.41)			1橋2断面 標本数 3
	平均値-0.5σ	1.03~1.06 (1.05)	0.16~0.68 (0.48)		1.18~1.51 (1.34)			2橋4断面 標本数 24
D+TH+EQ	平均値	1.00~1.08 (1.03)	0.01~0.53 (0.03)	0.11~0.83 (0.39)		0.62~1.11 (0.92)		20橋41断面 標本数 500
	平均値-0.5σ	1.00~1.08 (1.03)	0.01~0.51 (0.03)	0.10~0.84 (0.40)		0.37~1.04 (0.70)		21橋41断面 標本数 486
D+L+TH+W	95%値	1.04~1.08 (1.06)	0.67~0.88 (0.77)	0.19~0.56 (0.45)	0.98~1.60 (1.14)			1橋4断面 標本数 30
	平均値	1.03~1.07 (1.05)	0.35~0.86 (0.69)	0.11~0.52 (0.36)	1.23~1.64 (1.46)			1橋3断面 標本数 12
	平均値-0.5σ	1.02~1.07 (1.05)	0.25~0.91 (0.47)	0.15~0.62 (0.42)	0.97~1.51 (1.36)			1橋4断面 標本数 47

※()の値は荷重係数の中央値を示す。また、着色部は荷重係数の値が小さい荷重を示す。

荷重シミュレーションの手法を見直し、シミュレーション対象橋梁数を増加させたことで、表1に示したように信頼性を向上させた荷重組合せと荷重係数を得ることができた。

[成果の発表]

本研究の成果を国総研資料として公表予定である。

[成果の活用]

本研究で得られた荷重組合せや荷重係数を道路橋示方書等、技術基準改定のための基礎資料として活用した。

高度な構造解析手法を用いた安全性及び耐久性評価法の基準化に 関する調査検討

Study on 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
研究員 河野 晴彦
Researcher Haruhiko KOUNO

室長

Head

研究官

Researcher

交流研究員

Guest Research Engineer Mamoru MASAKI

星隈 順一

Junichi HOSHIKUMA

宮原 史

Fumi MIYAHARA

正木 守

This research has been seeking a design practice using refined analyses to examine structural details for strength and durability simultaneously. From the viewpoint of practice, the constant shear panel model is employed and the trial design of a steel bridge and a concrete bridge are performed. The trial shows that the model enables to give nominal stress distributions that are compatible with the allowable stresses given in the design specifications. The test also shows the potential to be capable of seeking better structural details for fatigue and concrete crack using the calculated principal stress distributions while conducting the strength capacity check with nominal stress distribution simultaneously.

〔研究目的及び経緯〕

道路橋の設計は、初等はり理論に基づく骨組解析を前提として行われ、公称応力を用いて耐荷力を照査する。耐久性の検討においては主応力分布や 2 次応力分布まで把握することが有効であるが、主応力や 2 次応力を計算で把握するためには別途シェル要素やソリッド要素を用いた FEM モデルを作成し、検討しなければならず合理的ではない。他方、初めからシェル要素やソリッド要素を用いて耐荷力設計をしようとしても、解析により得られる 2 次応力を含む応力度の分布と、公称応力を用いることを前提に実験結果等に基づく現行の許容応力度とを直接比較できない。

そこで、本研究では、一度の解析で公称応力成分と 2 次応力成分を独立して取り出すことができる一定せん断流パネルを用いた解析（以下、「せんパネ解析」という）を用いて、耐荷力設計の過程の中で耐久性上有利なディテールを同時に検討できる設計手法を検討した。具体的には鋼橋と PC 橋に対する試設計を行い、公称応力を用いて直接的に耐荷安全性を確認すると同時に、鋼橋や PC 橋の耐久性低下要因の一つとなる 2 次応力やそれに起因するひび割れ等を低減できる構造詳細を確認できることを示した。

〔研究内容及び研究成果〕

1. 解析手法の違いによる照査内容の関係

従来設計とせんパネ解析、ソリッド要素やシェル要素を用いた FEM 解析を比較すると、せんパネ解析は、従来の格子解析モデルを基本としつつ骨組み間の結合をせん断流パネル要素で補完するモデルであるため、格子部分の応力を取り出すことで、従来の公称応力や許容値と相対比較が可能である。すなわち、計算結果のあと処理等も不要で、現在の道路橋示方書の許容値をそのまま用いて耐荷力設計ができる。そして、せんパネ解析は FEM 解析と同様に 3 次元的に要素を配置できることから、格点部や 2 次部材などの局所のモデル化や（図 1）、横桁や PC 鋼材のモデル化が可能になり、せん断流として立体的な応力分布が得られる（図 2）。その結果、全橋モデルで耐荷力の照査をしつつ、同時に局所の作用応力やプレストレスによる腹圧力等の応答値を算出し、構造詳細を検討できると期待できる。

2. せんパネ解析を用いた試設計

せんパネ解析を用いることで合理的な設計ができることを検証するために、全橋モデルを用いて試設計を行った。鋼橋では図 1 に示した単弦ローゼ橋、PC 橋では PC 箱桁橋を例として示す。その結果、主桁や横

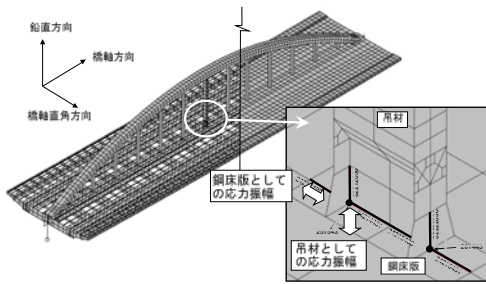


図1 鋼橋全橋解析モデルと局所部分の詳細図

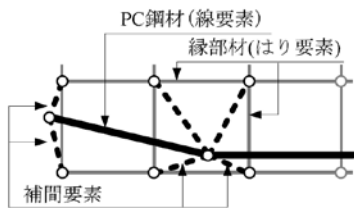


図2 PC鋼材のモデル化

桁の作用応力について格子解析と同様な公称応力として算出できることを確認した。また、鋼橋では、複雑な応力性状となる部位において、単なる格子モデルでは計算できないような、想定する疲労損傷毎の要因となるそれぞれの向きの応力振幅を、せん断流を介し複数の断面力の同時性を考慮して算出でき、応力振幅を小さくするよう詳細構造を検討できることがわかった。PC橋では、プレストレスによる腹圧力の特徴が現れるように桁高変化のあるPC箱桁橋を対象とし、下床版のPC鋼材を分散配置したケースと、集中配置したケースをモデル化した。その結果、PC箱桁を一本棒でモデル化したときと同様に、橋軸方向の格子の応力分布を用いて桁としての応力計算を行いつつ、横方向格子の応力計算を行い、せん断流パネルのせん断流分布を用いることで、PC鋼材を集中配置したケースではウェブ付近に分散配置したケースと比較して4倍程度の腹圧力が生じる結果が得られるなど、合理的なケーブル配置を検討できることがわかった(図3)。

このように、全橋モデルを用いたせん断パネル解析により、局所応力状態やPC鋼材配置の違いによる腹圧力の影響を把握できることから、局所的な部位の安全性や耐久性に関する評価について、部材の断面計算による公称応力を用いた各限界状態の照査や断面の決定と同じ設計段階で同時に行うことができることを確認した。本検討により、定量的な判断を踏まえた設計品質の信頼性を向上させる手法を提案することができた。

3. せん断パネル解析のマニュアル化の検討

数値解析の応答値は、要素分割の影響を受けるので、設計の品質の信頼性を確保するためには、数値解析モデル作成の要領を確立する必要がある。そこで、せん断パネル解析の要素分割に関する検討を行った。例として、

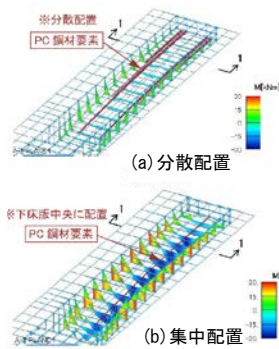


図3 腹圧力の評価
横方向曲げモーメント分布

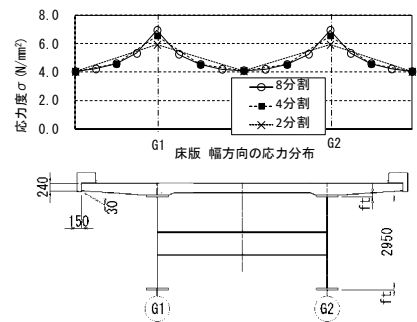


図4 床版の幅方向の要素分割数と応力分布

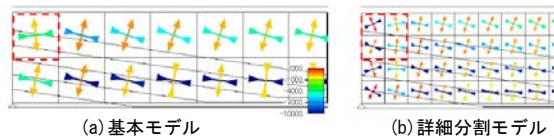


図5 プレストレス作用下の上床版の主応力分布

図4に、鋼連続合成2主I桁における床版の主桁作用の幅員方向に分布する曲げ応力度と要素分割数の関係、図5にPC箱桁橋におけるプレストレス作用下のウェブの主応力分布を示す。鋼橋のモデルにおいて2分割では主桁間の応力分布が三角形となるものの、4分割及び8分割では2次放物線となる曲げ応力分布を再現できることがわかった。主桁から外側の張出部も主桁間と同様に、4分割以上で解析の精度が確保されることがわかった。一方、PC橋において主桁高さを2分割から4分割にすることで、PC鋼材定着部の主応力の流れをより細かく表現できることが確認された。しかし、必要以上に分割数を多くすることはモデル化の煩雑性や収束計算速度にも影響するため、有効伝達長、有効断面、せん断遅れ等の従来設計との関係(精度)を個々に対比して適切に設定する必要がある。

本研究の結果から、せん断パネル解析による全橋モデルを主体とした設計手法が、必要な照査や評価を同じモデルによって効率的かつ整合のとれた形でできる合理的な設計手法になり得ると考え、現段階で整理できる設計手法および解析モデル作成要領を取りまとめた。

[成果の発表]

- 1) 玉越隆史、白戸真大、横井芳輝、水口知樹：鋼道路橋の合理的な設計解析手法に関する研究、国土技術政策総合研究所資料、No.841、2015.3
- 2) 水口知樹、玉越隆史、白戸真大、横井芳輝：一定せん断流パネル要素を用いた解析を主体とした鋼道路橋の設計手法に関する検討、鋼構造論文集、Vol.23、No.89、pp.1-13、2016.3

[成果の活用]

今後さらに検討を進め実務者のための設計ガイドラインや基準等への反映を目指す。

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 27-30 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 Masayuki KUBOTA

星隈 順一

Junichi HOSHIKUMA

宮原 史

Fumi MIYAHARA

窪田 真之

To stiffen damaged area of bridges due to fatigue cracks found at road bridge welds caused by a large traffic volumes these days, stiffening plates jointed with single-sided construction bolts have been widely used for the seriously damaged member which is flat. But it seems that it hasn't been confirmed if this method is useful for pipe shaped members yet.

Our studies investigated that, in comparison to flat specimens, pipe shaped specimens stiffened by single-sided construction bolts have enough fatigue durability within a given range by fatigue tests. As a result, it was observed that these specimens were elastic under 240kN-50kN range of fatigue test, which indicates that the structure has less effect on fatigue at limited range.

[研究目的及び経緯]

鋼道路橋の溶接部からの疲労亀裂等に対する補修補強において、高力ボルト摩擦接合継手が用いられる場合があるが、構造上の制約により部材の片側からしかボルト締付が行えない部位が存在する。これに対して、片側から施工できる特殊な高力ボルト（以下、「片側施工高力ボルト」という）が使用されることがある。

しかし、片側施工高力ボルトに関する規定はなく、標準すべり試験に準じた引張試験や疲労耐久性試験により個別に検証が行われている。また、鋼道路橋の部材には曲面を有する部材があり、片側施工高力ボルトによる曲面部材への摩擦接合継手について、母材と当て板の接触状態や片側施工高力ボルトの曲面への追随性が耐荷力および疲労耐久性に与える影響については明らかにされていない。

本研究は、補修補強における部材接合の高度化を目的として、片側施工高力ボルトによる継手の性能評価方法について検討するものである。

平成 28 年度は、閉断面曲面部材に対する片側施工高力ボルト摩擦接合継手による当て板補強を模擬した供試体の疲労試験を行い、継手の疲労耐久性について確認した。

[研究内容]

1. 供試体作成

本研究では、疲労損傷が確認された閉断面曲面部材への当て板補強を想定し、図 1 に示す管部材 $t=9.3\text{mm}$ 、

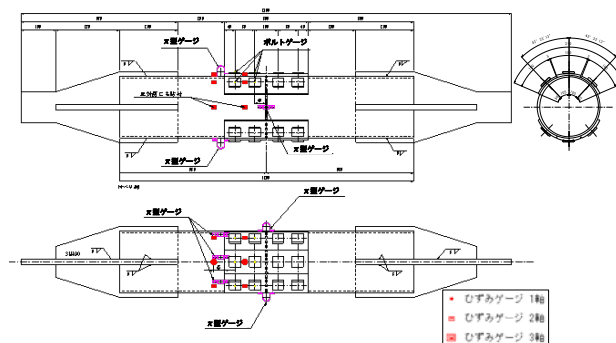


図 1 管部材の当て板補強を模擬した供試体

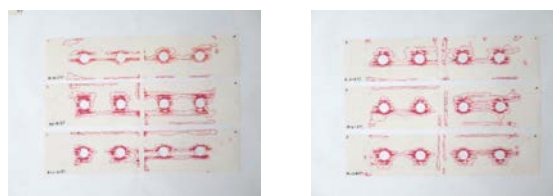


写真 1 感圧試験結果

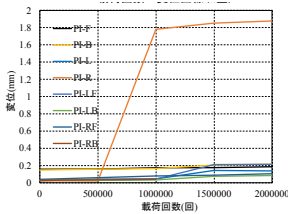
$\Phi 267$ (STK400) と連結板 $t=9\text{mm}$ (SS400) を片側施工高力ボルトにより一面摩擦接合した供試体を作成した。なお、表面処理はブラストによる 1 種ケレン後、無機ジンクリッチペイントによる塗装を各部材に施した。また、ボルト締めは片側からしか施工ができないことを考慮して、管部材外側のみ曲面座金を使用した。そして、接合面に感圧紙を設置して一度組立てた後、分解して接触圧を確認したところ、平板で試験した場合とは異なり、ボルト孔周辺に均等な圧力がかかっていないことがわかった（写真 1）。



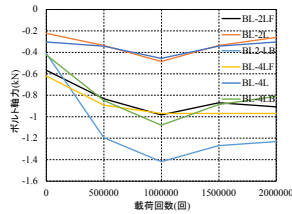
写真2 疲労試験状況



写真3 接合部状況



(a) 載荷回数-変位 (π型)



(b) 載荷回数-ボルト軸力

図2 疲労試験結果

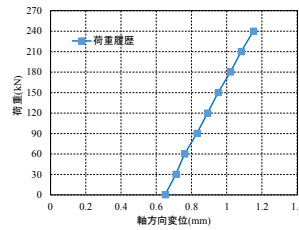
計測機器の設置にあたっては、管部材同士の変位や管部材と連結板との変位を計測するためのπ型ゲージの他、一面摩擦接合継手の偏心等の影響を把握するため連結板の中央及びボルト孔間、管部材の内外面にひずみゲージを設置し、ボルト軸力を確認するためボルト軸中心を削孔した内部にボルトゲージを埋設した。

2. 疲労試験

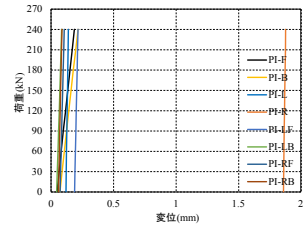
疲労試験は国土技術政策総合研究所が所有する油圧サーボ式疲労試験機を用いて、繰り返し荷重（上限：240kN、下限：50kN）を6～7Hzで片振引張繰り返し載荷し（写真2、写真3）、繰り返し載荷回数200万回を上限として試験を行った。なお、載荷回数50万回毎に繰り返し載荷を中断し、240kNまで荷重を漸増載荷して段階毎に計測後、テストハンマーによりボルトの緩みを確認した。

図2に疲労試験時のπ型変位計とボルトゲージによる計測結果を示す。π型変位計で大きく変化している変位計があるが供試体外観に異常は確認されなかったため、載荷中に変位計の固定部分にずれが生じたものと推察される。その他の変位計については、顕著な変化は見られなかった。また、ボルト軸力に変動が見られるものの、導入軸力に対して最大で1%程度の軸力変化であり、顕著な低下は見られなかった。

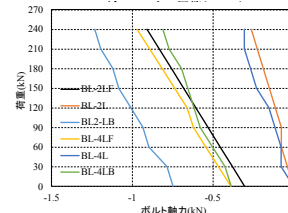
繰り返し載荷200万回終了後に漸増載荷した際の計測結果から（図3）、変位、母材のひずみ、ボルト軸力いずれも線形的に変化し、弾性挙動を示していることが分かる。



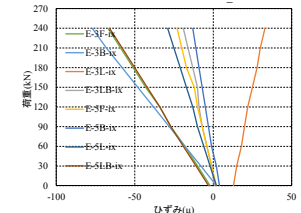
(a) 荷重-軸方向変位



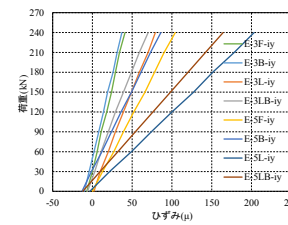
(b) 荷重-変位 (π型変位計)



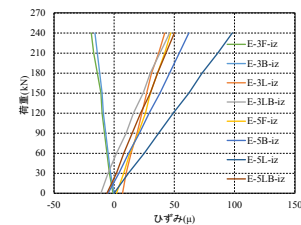
(c) 荷重-ボルト軸力



(d) 荷重-ひずみ (母材 x 軸)



(e) 荷重-ひずみ (母材 y 軸)



(f) 荷重-ひずみ (母材 z 軸)

図3 200万回試験後の漸増載荷による計測結果



(a) 管部材の浸透探傷試験



(b) ボルトの磁粉探傷試験

写真4 疲労損傷の非破壊検査

接触圧が不均等であることによるボルトの緩みが懸念されたが、計測終了後にボルトの緩みは見られなかった。また、母材及び連結板のボルト孔周辺、並びに片側施工高力ボルトに対して浸透探傷試験及び磁粉探傷試験をそれぞれ実施した結果（写真4）、亀裂等の損傷が確認されなかったことから、本試験条件においては疲労耐久性を有していることを確認した。

しかし、対象とする部材、部位によっては応力状態が複雑な場合もあるため、引き続き構造特性に応じた供試体の設計、試験方法の検討を行い、性能検証法としてとりまとめる必要がある。

[成果の公表]

国総研資料で発表予定。

[成果の活用]

既設橋の補修補強に関する技術基準に反映する。

土中構造物等の要求性能及び基準体系に関する調査検討

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
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 purpose of this research is understanding at designing necessary technical standards corresponding to required performance for road constructions, such as soil structure (culvert, retaining wall, shed, etc.). It aims to clarify various problems concerning design methods. In this year, the authors have investigated the trends of deformations of retaining walls by inspection data, and have evaluated the seismic performance of cantilever retaining wall and RC rock shed which were designed by empirical design methods.

[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、擁壁について、直轄の国道において定期的に行われている点検等で把握されている変状についての特徴や傾向の把握を行った。さらに、道路土工指針に基づいて設計した擁壁・シェッドの地震時での躯体安定性及び部材安全性について、道路土工構造物技術基準で規定される性能との対応関係について検討を行った。

[研究内容及び成果]

1. 擁壁の変状の現状

直轄国道においては、過去の道路防災点検において防災上対策が必要と思われる箇所等について、防災カルテを作成し毎年点検を実施しているところである（カルテ点検）。今年度の調査では、平成27年度に実施したカルテ点検のうち、擁壁についての変状の部位・程度・進行状況等（約4,000箇所）について傾向を確認した。

擁壁全体としては、ブロック積擁壁での変状件数が最も多く（図-1）、その中で多い変状は壁体におけるひび割れであった。

さらに、カルテ点検対象擁壁のうち、変状が比較的大きく、躯体傾斜による天端の水平変位量について記録さ

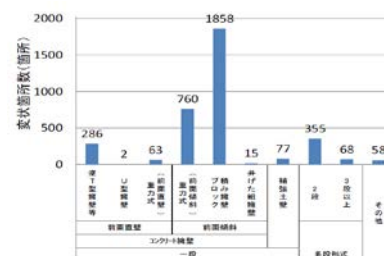


図-1 擁壁のタイプ別変状箇所数 (H27 直轄)

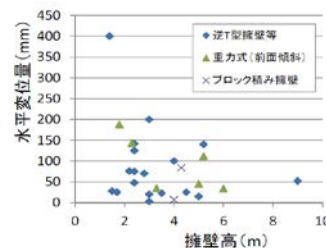


図-2 擁壁の傾斜に伴う天端の水平変位量の分布

られている（傾斜角等の情報から推定できるものを含む）事例をとりまとめると図-2に示すように水平変位量で概ね200mm以下であり、いずれも現時点で道路交通への影響は生じていない状況であった。

その他の変状としては、擁壁躯体の沈下が確認されているものについてみると、図-3に示すように100mm程度までの沈下が認められているが、いずれも道路交通への影響は認められていない状況である。

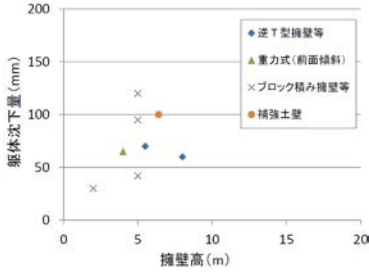


図-3 擁壁躯体の沈下による天端変位量

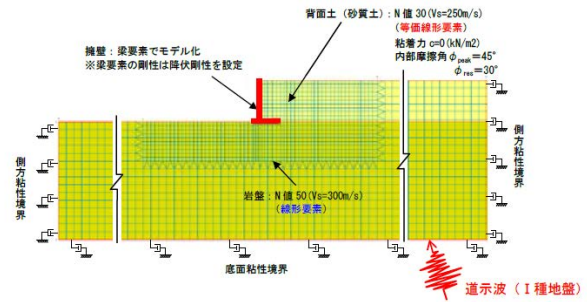


図-4 擁壁の地震時の挙動に関する解析

2. 逆T式擁壁の耐震性検討

道路土工-擁壁工指針では、擁壁の重要度や擁壁の形式、高さ等に応じて設計における照査項目を示している。そのうち、擁壁高さなどが一定条件を満たすものについては、経験的設計法に基づいたものであれば、これまでの被災事例や損傷程度を勘案し、レベル2地震動に対して計算による照査を省略しても要求性能が確保できるとみなすことができることとされている(以下、みなし規定)。

みなし規定は、高さ8m以下の擁壁について、構造細目を満たした上で常時の作用に対する照査を満たすように設計することで、重要度2(万一損傷すると交通機能に著しい影響を与える場合あるいは隣接する施設に重大な影響を与える場合 以外の場合)であれば、レベル2地震動に対して性能3(想定する作用による損傷が擁壁として致命的とならない性能)は満足するとみなせるとするものである。今回の検討では、こうした設計法により設計された擁壁に対して、H24年道路橋示方書で規定されているレベル2地震時に相当する地震動が作用したときの擁壁の変位や応力度を試算し、部材としての安全性を検証するとともに実変状事例と対比した。

解析は2次元FEMにより行い、図-4に示すようにモデル化した。ここで、躯体は線形梁要素、表層地盤は等価線形要素、下層地盤は線形弾性要素を設定した。解析ケースは常時の作用に対して設計した高さ5、8、10mの擁壁の3ケースとし、レベル2(タイプ2)地震動が作用した際の躯体安定性、部材安全性を検討した。

解析結果を表-1に示す。安定性については残留水平変位が生じるものの、その程度は図-2に示す実事例で確認されている変状(概ね200mm以下)より小さく、道路交通に影響を及ぼすレベルではないことが確認された。また部材の安全性については、主鉄筋の降伏応力度をこえるもののその程度はわずかである。

以上より、みなし規定に基づき設計された逆T式擁壁は、擁壁自体に大きな損傷は生じず、道路交通に影響を及ぼすレベルの変状も生じないことから、道路土工技術基準で規定される性能2は概ね確保されているといえる。

表-1 擁壁の照査結果と保有性能

擁壁高	躯体安定性照査		部材安全性照査	保有性能
	滑動照査	転倒照査	曲げ照査	
5m	残留変位僅かに有り(32mm) 交通への影響は小	残留変位僅かに有り(6mm) 交通への影響は小	僅かに降伏応力度を超過(1.04倍)	性能2
8m	残留変位僅かに有り(183mm) 交通への影響は小	残留変位僅かに有り(17mm) 交通への影響は小	降伏応力度超過しない	性能2
10m	残留変位僅かに有り(169mm) 交通への影響は小	残留変位僅かに有り(26mm) 交通への影響は小	降伏応力度を超過(1.10倍)	概ね性能2

*交通への影響は既設擁壁の点検で確認されている変位量を参考としたため、実際の設計では個々の状況にあわせて保有性能を検討する必要がある。

3. RC箱形ロックシェットの耐震性検討

RC箱型ロックシェットの耐震性について、落石の設計衝撃力の違いによる諸元の違いが及ぼす影響を検討した。設計衝撃力の異なる3事例に対し、山側からの载荷を想定した荷重漸増解析(背面土 $\theta=50^\circ$)を行った(図-5)。

設計衝撃力が小さいクラスに属する620kNのロックシェットでは、水平震度0.6で降伏し、その後変形が大きく進んでいる。それに対し、1580kNでは水平震度0.7で降伏し、道示のレベル2(タイプ2)地震動の設計水平震度では降伏変位の2倍程度で留まっており損傷は限定的と考えられ、落石の衝撃力が大きいほど耐震性能が向上する傾向があることが確認された。

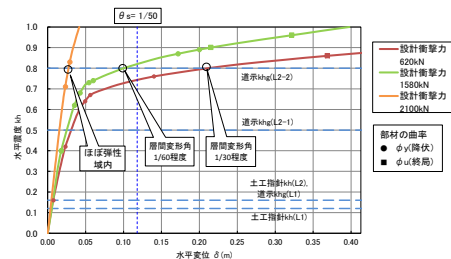


図-5 落石による設計衝撃力の違いによるRC箱型ロックシェットの水平震度と水平変位の関係の比較

[今後の課題と成果の反映]

今後は、道路土工構造の要求性能に対する設計法の確立のために、経験的設計法の適用範囲外も含めた設計条件や手法等に関する検討が必要である。

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の構築に活用する。

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
研究官
Researcher

間瀬 利明
Toshiaki MABUCHI
高木 繁
Shigeru TAKAGI
上原 勇氣
Yuki UEHARA

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、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・補強対策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、変状の種類や進行性等の傾向について、トンネル構造や建設年代等の観点から整理した。また、覆工設計において、低土被り部等における坑口部支保パターンが支持できる土被り荷重について検討した。さらに、地震動によって生じる地山の変形により、覆工に生じる損傷・変状について、試算した。

[研究の内容]

1. 平成 27 年度道路トンネル定期点検結果の分析

平成 27 年度に定期点検を実施した直轄国道の山岳トンネル (n=400) について、点検調書に記された全変状について、建設年代別に整理した。また、3 種類の変状区分 (【外力】【材質劣化】【漏水】) に分類し、それぞれの変状数の割合を同様に整理した。なお、変状数の整理にあたっては、トンネル 1 本あたりの延長の差を考慮し、100m あたりの箇所数としている (図-1)。

図-1 より、建設年代が古いトンネルほど、100m あたりの変状数が増加傾向にあり、特に 1989 年以前のトンネルにおいて、2m に 1 箇所程度の変状が発生していることが確認できる。

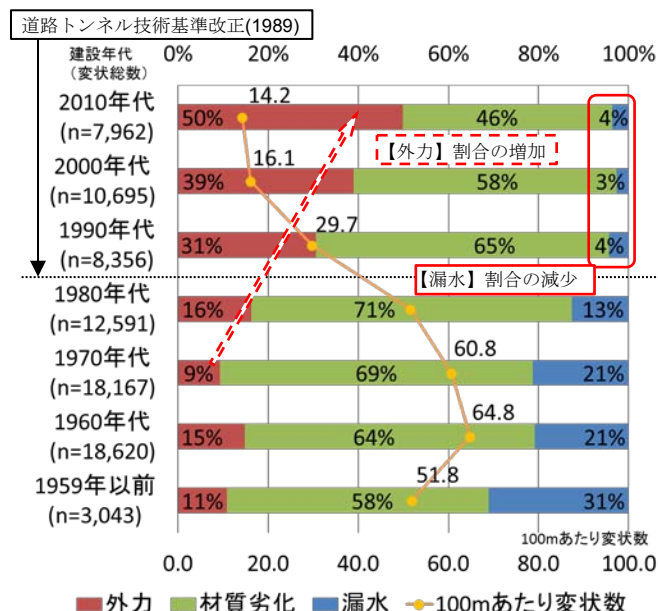


図-1 建設年代別の変状数割合

変状区別では、1959 年以前では【漏水】が全変状の約 3 割を占めていたのに対し、1990 年代以降は約 3～4%と大幅に減少していることが確認できる。これは、1989 年の道路トンネル技術基準の改正により、山岳トンネルの標準工法が矢板工法から NATM へ切り替わり、防水工が施工されるようになったためと考えられる。また、1970 年代以降、【外力】が増加傾向にあり、2010 年代では全変状の約 5 割を占めていることが確認できる。これは、建設年代が新しくなるに連れて、変状総数及び【漏水】が減少傾向にあることにより、相対的に増加したと考えられる。なお、今回得られた点検結果では、変状の程度が小さい段階においては、変状区

分（特に【外力】及び【材質劣化】）の区別が必ずしも明確でない場合があることに留意する必要がある。

次に、平成27年度に定期点検を実施した山岳トンネルのうち、過去にも定期点検を実施している山岳トンネル(n=100)について、トンネル覆工コンクリートのスパン毎の健全性に関する判定区分を比較し、建設年代別に整理した。

なお、道路トンネル定期点検要領が平成26年度に策定されたことに伴い、変状の判定区分が、従来のS、B、AからⅠ～Ⅳへと変更されているため、判定の比較に際して、読み替えを行っている(表-1)。

表-1 スパン別判定区分の新旧対比

道路トンネル定期点検要領(平成26年6月)		従来(平成26年度以前)
判定区分(5区分)		判定区分(3区分)
Ⅰ:健全		S(変状無、軽微)
Ⅱ:予防保全段階 (要監視)	Ⅱb: 予防保全段階 (要監視)	B(変状有:危険性低、要調査)
	Ⅱa: 予防保全段階 (要監視・要対策)	
Ⅲ:早期措置段階(要早期対策)		A(変状大:危険性高、要応急対策、要調査)
Ⅳ:緊急措置段階(要緊急対策)		

図-2より、1960年代及び1990年代において、【Ⅲ(要早期対策)】もしくは【Ⅳ(要緊急対策)】の判定へ進行したスパンの割合が突出していることが確認できる。特に1960年代については、全体の半数以上のスパンで変状が進行している。その一方で、1970年代及び1980年代では、変状の進行したスパン数が1960年代と比較して半減していることが確認できる。考えられる理由の一つとして、対策工の実施による判定の改善が挙げられる。

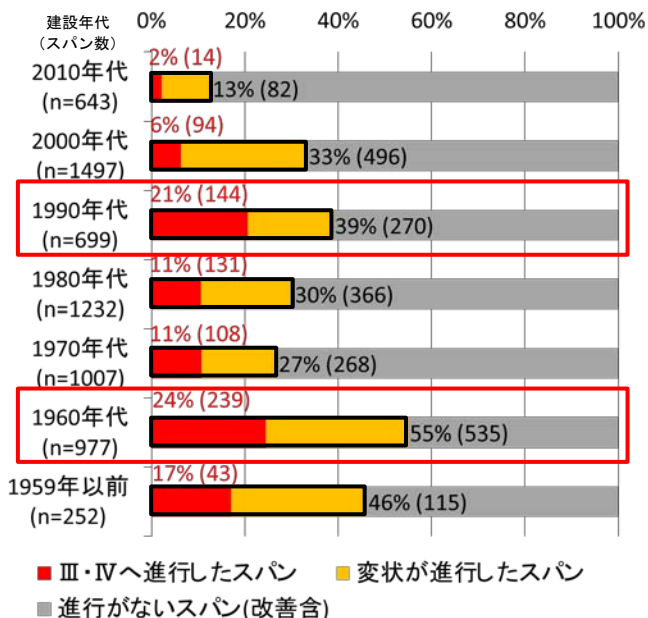


図-2 建設年代別のスパン判定の進行性割合

2. 低土被り部等における坑口部支保パターンが支持できる土被り荷重の検討

坑口部以外の土被りが小さい箇所等で、坑口部支

保パターンが適用されている標準的な道路トンネルに関して、その覆工が支持できる土被り荷重を骨組み構造解析により試算し、整理した。

試算にあたっては、側圧係数(水平土圧/鉛直土圧)や地山の変形係数を変化させ、許容応力度及び限界状態(使用・終局)の各設計法について、各ケースの解析結果から設計土被り荷重の比(土荷重高さH/トンネル幅D)を算出した。地山等級DⅡの時の設計土被り荷重比の検討結果を以下に示す(図-3)

トンネル天端部においては、側圧係数が大きくなるに連れて、耐える土被り荷重比は大きくなっている一方で、インバートについては小さくなっていることが確認出来る。これは、トンネル天端部においては周辺地山のアーチ効果が現れている一方、インバートについては軸力がかかる事による影響が大きくなっていることによるものと考えられる。また、いずれの側圧係数においても、終局限界状態では、許容応力度の約2倍の土被り荷重比に耐える結果となった(図-3)。

なお、測点や地山の変形係数の違いによって、耐える土被り荷重比は大きく変化するため、耐荷力や安全係数の設定時には留意する必要がある。

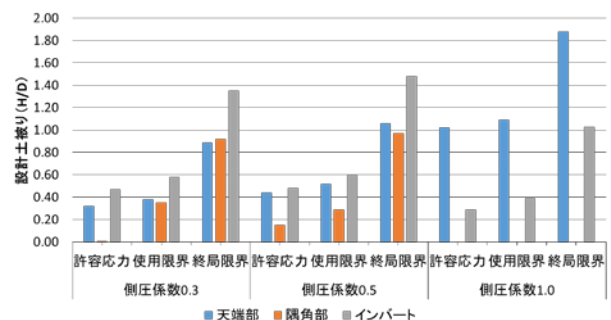


図-3 側圧係数と設計土被り荷重比(地山等級:DⅡ)

[今後の課題]

定期点検結果の蓄積、建設後の経過年数や工法・建設条件等との比較、及びトンネル坑口部からの距離による変状に関する傾向把握など、定期点検の合理化に向けた調査・検討が必要である。

また、特殊な建設条件や、維持管理の効率性を考慮するなど、合理的な設計条件・手法等に関する分析・検討が必要である。

[成果の発表]

各種論文等で発表予定である。

[成果の活用]

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～29 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	久保 和幸
Head	Kazuyuki Kubo
主任研究官	谷川 征嗣
Senior Researcher	Masatsugu Tanigawa
研究官	榎本 忠夫
Researcher	Tadao Enomoto

The objective of this study is to establish the framework of the performance based design method for earth structures. In the third fiscal year, based on the case studies of earth structures with and without earthquake/rain-induced damage in the past, an attempt was made to discuss their quantitative “required performance” which should be employed in the design guidelines. In addition, for 13 examples of road embankments, a comparison between their seismic performances, which were evaluated using the current design guide book, and the actually observed earthquake-induced damage was conducted.

[研究目的及び経緯]

盛土等の道路土工構造物の地震や豪雨による被害が依然として多い。平成 27 年 3 月に制定された道路土工構造物技術基準（以下、土工基準）では要求性能等に関する定性的な表現が多いため、技術者により解釈が異なる可能性がある。また、道路土工指針等による耐震性照査結果と実際の被災程度との関係性は十分明らかになっていない。そこで、平成 28 年度は、道路土工構造物の地震・豪雨等による被災事例について、土工基準に示される要求性能 1～3 との対応関係を整理し要求性能の定量化を試みた。また、地震による盛土の被災事例に関して、現行の盛土工指針による耐震性照査結果と実際の被災程度との関連性について検討した。

[研究内容及び研究成果]

要求性能の定量化では、過去に収集された道路盛土・切土・擁壁、自然斜面に関する、地震または豪雨等による被災事例 約 50 件について、被災箇所、被災程度、周辺施設への影響、通行機能への影響、復旧に要した時間等の観点から整理し、これらの整理結果から当該事例を性能 1～3 に分類した。また、これらを事例集として取りまとめるとともに、被災原因分析、被災程度と性能の関係などについて考察した。

耐震性照査については、2007 年能登半島地震、2011 年東北地方太平洋沖地震において被害を受けたもしくは無被害であったそれぞれ石川県内 5 箇所、福島県内 8 箇所の盛土を対象に実施した。現地にてブロックサンプリング法による乱れの少ない試料採取、及び攪乱試料採取を行うとともに、採取地点近傍で、簡易動的コーン貫入試験、現場密度試験を実施した。採取した試料に対して種々の室内土質試験を実施し、得られたパラメータを用いて震度法およびニューマーク法による耐震照査を行い、安全率または解析による変位量と被災程度の関連性などについて分析した。

1. 道路土工構造物の被災事例の整理

(1) 整理方法

土工基準においては、道路土工構造物の道路としての機能に着目して性能が分類されている。したがって、連続又は隣接する構造物等の要求性能のことを規定していると解釈できるが、今回、性能評価を行うのは個別の土工構造物である。個別の道路土工構造物の性能評価においては、「道路土工構造物技術基準 関係資料」（平成 27 年 3 月、国土交通省 道路局）p. 28～30 のイメージ図を参考にした。

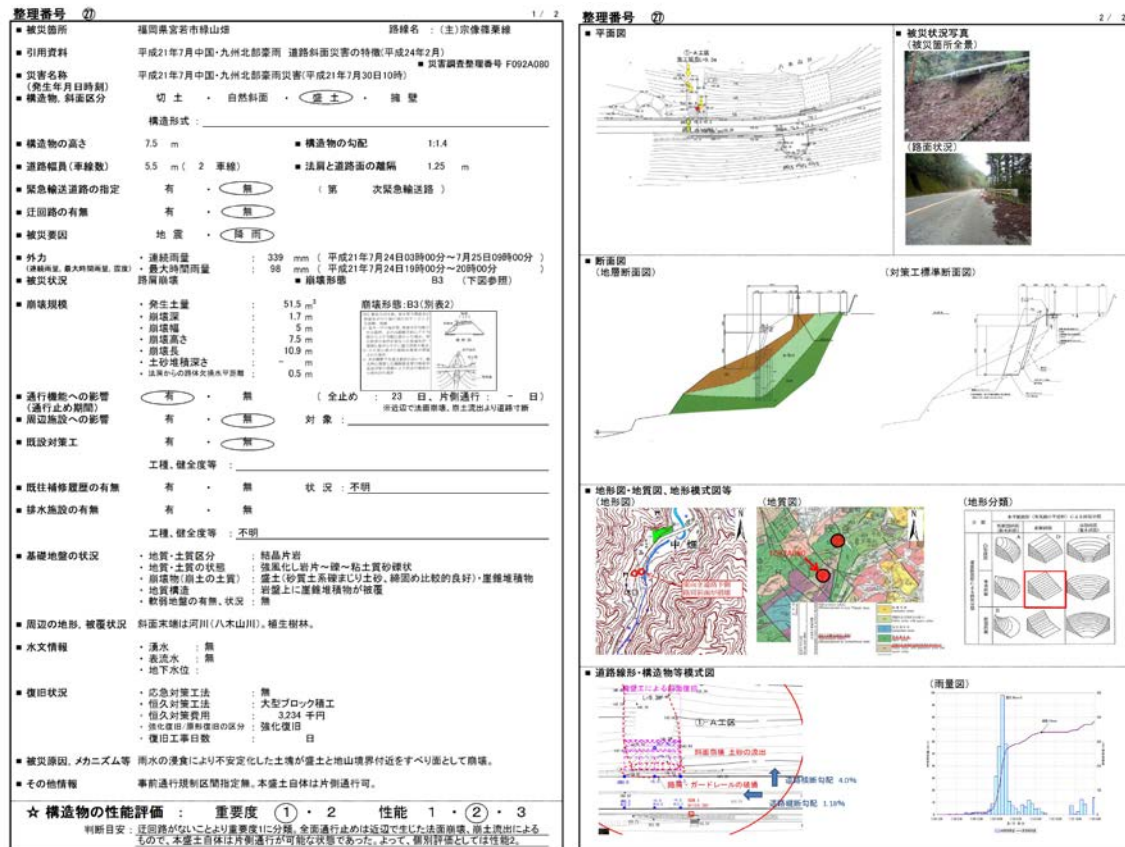


図1 被災事例の整理結果の一例

表1 性能評価方法の整理

性能	安全性	使用性	修復性	記述の補完・本業務での解釈
1	○	○	○	「道路としての機能に支障を及ぼさない」程度の損傷とは、「通常の維持管理程度の補修で土工構造物の機能を確保できる」(土工要綱)よりことである。
2	○	×	○	「機能の一部に支障を及ぼすが、すみやかに回復できる性能」とは、基準関係資料より、切土・自然斜面の場合、「片側交互規制は行うが、道路の通行機能は確保」できる性能。盛土・擁壁の場合、「一時通行規制を行うが、簡易な復旧により通行機能を回復」できる性能と考える。なお、「簡易な復旧」とは、土のう袋による応急復旧程度と想定する。また、「すみやかに回復」とは7日程度以内での通行機能確保を想定する。
3	○	×	×	「当該支障が致命的なものにならない」とは、復旧工事日数に関わらず、道路の復旧が可能であることと考える。

○：満足する必要がある
×：満足しない

要求性能を1～3にグルーピングする上で、土工基準における記述のうち、解釈が必要な用語及び文章については、その他参考文献の記述により補完、あるいは、本研究では表1に示すとおり解釈した。ただし、本解釈は本研究内における試行的な記述である。同表には要求性能と安全性、使用性および修復性との関連も示している。

(2) 性能評価の流れ

性能評価を行う際、切土(斜面下に道路があるもの)および自然斜面の場合(以下、切土と称する)、ならびに盛土、擁壁および切土(切土上面に道路があるもの)の場合(以下、盛土と称する)のそれぞれでフロー図を作成し、それによって判定を行った。これらのフロー図は、設計時に用いることも想定し、沈下量や道路の路肩幅等の具体的な数値を示した。数値の根拠は「盛土の性能評価と強化・補強の実務」(平成26年6月、一般財団法人 土木研究センター) p. 58, 59 に示される交通機能に対する道路盛土の性能評価基準(大阪大学大学院工学研究科 常田賢一教授の研究成果)を参考とした。修復性の有無によって性能2と性能3に分けるケースがあるが、このフローでは収集した被災事例の被災程度と通行止め期間の関係および道路構造令第八条に示される路肩の幅員(第三種第一級小型道路、第二級～四級普通道路)を参考としてグルーピングするものとした。

なお、交通機能の確保に要する日数については、道路の重要度や連続する区間の土工構造物の被害の程度によっても変わることから、ここでは具体的な数字を示していない。ただし、今回の調査では、試行的に、切土の場合は全面通行止めを24時間程度以内に解除で

きた事例、盛土の場合は全面通行止めを7日程度以内に解除できた事例を「修復性がある」と定義した。この定義についても試行的なものであり、今後さらに検討していく必要がある。

(3) 整理結果

収集した被災事例の整理結果の一例を図1に示す。また、性能評価を実施した結果を表2に示す。

表2 道路分類による性能評価結果の比率

道路の分類	重要度		性能評価		
	重要度1	重要度2	性能1	性能2	性能3
一般国道	19	0	1	12	6
能登有料道路	9	0	0	0	9
主要地方道	9	5	0	6	8
一般県道以下	1	7	0	1	7

2. 現行の耐震性照査法による照査結果と実際の被災程度の関連性の整理

2.1 原位置試験ならびに土質試験結果

表3に今回現地調査を実施した地点の一覧を示す。この13地点の盛土において、法面法肩付近、法尻付近及びその中間付近で攪乱試料採取および乱れの少ない試料採取(磐城_盛08と東北_盛13の2地点のみ)を実施した。乱れの少ない試料採取方法はネイルサンプリング法により行った。採取深さは50cm~100cmである。試料採取地点近傍において簡易動的コーン貫入試験、現場密度試験を実施した。

盛土層の採取位置での換算推定N値は1~5回程度で非常に緩い状態であった。湿潤密度の平均値は能登で1.51g/cm³、福島で1.48g/cm³、乾燥密度の平均値は能登で1.06g/cm³、福島で1.10g/cm³であった。

表3 試料採取地点一覧

番号	箇所名	路線名	距離標号(kp)	事務所	住所	被災状況	解析断面盛土高(m)	被災程度
①	能登_盛02	能登有料道路(東の上里山寄)	6.300	中能登	七尾市中島町土川	道路欠陥(盛土崩壊)	27	大
②	能登_盛04	能登有料道路(東の上里山寄)	11.700	中能登	七尾市中島町谷町	道路欠陥(盛土崩壊)	14	大
③	能登_盛05	能登有料道路(東の上里山寄)	14.700	中能登	七尾市中島町小牧	道路欠陥(盛土崩壊)	37	大
④	能登_盛07	能登有料道路(東の上里山寄)	17.700	中能登	七尾市中島町田岸	道路欠陥(盛土崩壊)	32	大
⑤	能登_盛18	249		羽咋	志賀町深谷	陥没陥没	26	中~大
⑥	磐城_盛05	8(常備BP)	##### ~ #####	磐城	いわき市平野田目	特になし	16	無
⑦	磐城_盛09	8(常備BP)	##### ~ #####	磐城	いわき市平野田目	特になし	27	無
⑧	磐城_盛10	8(常備BP)	##### ~ #####	磐城	いわき市平野	特になし	36	無
⑨	磐城_盛06	49	0.715 ~ 0.835	磐城	いわき市常盤上矢田町南ノ沢	特になし	25	無
⑩	磐城_盛11	49	8.140 ~ 8.310	磐城	いわき市好間町	特になし	12	無
⑪	磐城_盛08	49	31.700 ~ 31.980	磐城	いわき市三和町	特になし	12	無
⑫	郡山_盛03	4	#####	郡山	西郷村大字小田倉	積断クラック	2.5	小
⑬	東北_盛13	6	##### ~ #####	磐城	双葉郡富岡町大字上郷山字大田~関名吉	盛土崩壊、舗装破壊	15	大

表4 土質試験結果と限界水平震度

箇所名	土質試験値			土質試験値を用いたときの解析結果			限界水平震度 k
	γ_t (kN/m ³)	cd (kN/m ²)	ϕ_d (°)	安全率			
				常時	L1地震時	L2地震時	
① 能登_盛02	14.3	7	20.3	0.889	0.768	0.618	0.18
② 能登_盛04	14.1	19	20.9	1.366	1.216	1.055	0.164
③ 能登_盛05	16.0	12	30.7	1.207	1.031	0.887	0.082
④ 能登_盛07	14.5	23	22.1	1.513	1.304	1.129	0.199
⑤ 能登_盛18	15.0	12	20.7	1.376	1.198	1.019	0.170
⑥ 磐城_盛05	15.0	11	21.9	1.342	1.122	0.956	0.137
⑦ 磐城_盛09	14.4	30	24.4	1.836	1.540	1.306	0.310
⑧ 磐城_盛10	15.6	8	30.6	1.626	1.292	1.041	0.221
⑨ 磐城_盛06	14.5	16	29.7	1.757	1.470	1.248	0.283
⑩ 磐城_盛11	14.7	7	27.0	1.425	1.233	1.053	0.188
⑪ 磐城_盛08	14.1	3	30.0	1.470	1.183	0.957	0.178
⑫ 郡山_盛03	14.2	7	32.4	3.056	2.854	2.440	0.711
⑬ 東北_盛13	13.4	3	35.7	1.263	1.072	0.933	0.126

土質試験ではまず、粒度試験を行い最大粒径、細粒分含有率を把握し、圧密排水三軸圧縮試験(CD試験)の供試体直径を決定した。また、このうち9地点では比較的大きな礫が混入することから三軸試験の供試体

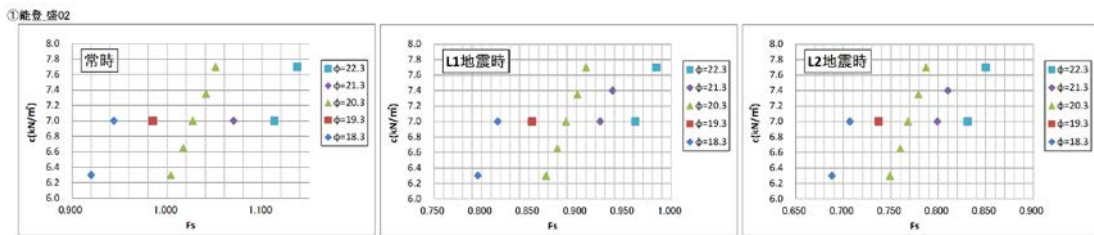


図2 常時、L1地震時、L2地震時の安全率(強度定数を変化させた場合)能登_盛02

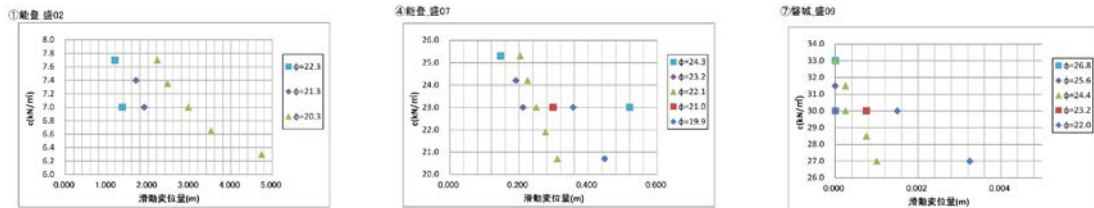


図3 NM法による滑動変位量(強度定数を変化させた場合)能登_盛02

初期密度を設定する際に礫補正を行うため、礫の密度及び吸水率試験を実施した。結果として、4地点において、礫補正した密度に調整して供試体を作製した。

2.2 現行の耐震性照査法による照査結果

上記の土質試験で得られたパラメータ（表4参照）を用いて、a)限界水平震度、b)円弧すべり法による常時・L1地震時・L2地震時安全率、c)ニューマーク法（以下、NM法と略称）による滑動変位量、d)盛土高さが高い7断面では地震応答解析により盛土内加速度の増幅を考慮した場合のNM法による滑動変位量を算出した。また、土質定数を±10%の範囲内位で変化させた場合のパラメータ感度分析、ならびに福島県内の盛土8断面に対しては2種類の地下水位に対して、a)～d)を算出した。

a)限界水平震度を表4に示す。パラメータを変化させた場合の限界水平震度の変化率としては0.5倍から2.9倍であった。

b)常時、L1地震時、L2地震時の安全率解析結果の一部（能登_盛05）を図2に示す。どの断面の結果も図2のように土質定数と安全率は概ね線形関係にある。

c)NM法による滑動変位量と土質パラメータの関係図の一例を図3に示す。これも安全率同様、概ね線形関係にある。

d)地震応答解析結果に基づくNM法による滑動変位量は図表等に示していないが、全般にc)の結果より大きな変位量となった。

2.3 実際の被災程度との関連性の整理

図4(①、②、③)は常時、L1地震時、L2地震時の安全率と実際の沈下量との関係を示したものである。安全率と沈下量の間にはよい相関が見られ、地震時に生じるであろう沈下量を震度法による安全率から概ね推定し得る結果となった。沈下量が急激に増大する安全率は、①から③の順に1.5、1.5、1.0程度となった。

図5は推定最大加速度と限界水平震度の関係を示したものである。小被害・無被害のデータは、「盛土工指針 p306-p307」に記述されている「最大加速度 800gal 程

度を有するようなレベル2地震動に対して設計水平

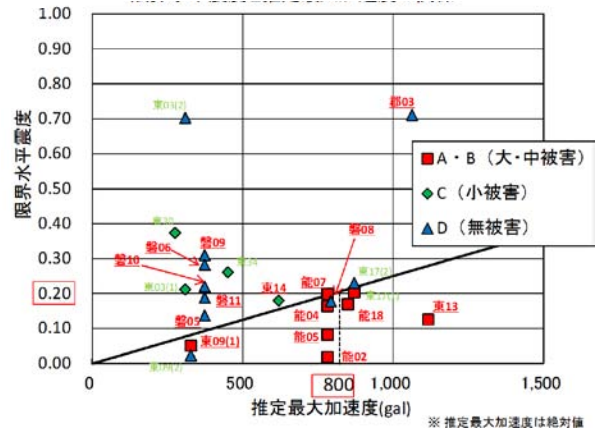


図5 推定最大加速度と限界水平震度の関係

震度0.2程度」の関係に対し、概ね左上（未崩壊領域）にプロットされ、大被害・中被害のデータは同ライン上または右下側にプロットされる。

3. まとめ

平成28年度は、道路土工構造物の地震・豪雨等による被災事例について、土工基準に示される要求性能1～3との対応関係を整理し要求性能の定量化を試みた。また、これらを事例集として取りまとめるとともに、被災原因分析、被災程度と性能の関係などについて考察した。今後、定量的な要求性能のあり方については、本事例集を基に（国研）土木研究所の関係部署や大学の有識者と議論を深めていく予定である。

さらに、地震による盛土の被災事例に関して、現行の盛土工指針による耐震性照査結果と実際の被災程度の関連性について検討した。その結果、道路土工指針に記されている最大加速度と限界水平震度の関係性を裏付ける結果が得られた。

[成果の発表] 第52回地盤工学研究発表会に論文投稿済み。

[成果の活用] 道路土工構造物技術基準解説、道路土工指針類に反映予定。

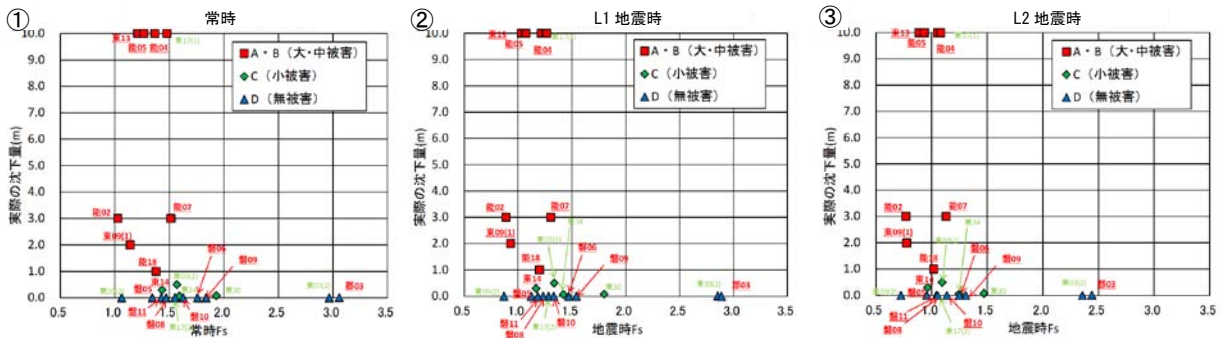


図4 安全率と実際の沈下量の関係

道路特性に応じた舗装の要求性能に関する調査検討

Study on pavement serviceability requirement based on road characteristics

(研究期間 平成 28 年度～30 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

久保 和幸
Kazuyuki Kubo
谷口 聡
Satoshi Taniguchi
船越 義臣
Yoshiomi Funakoshi

The objective of this study is to follow up "The Technical Standard for Pavement Structure" established in June, 2013. For this purpose, pavement serviceability requirement and long-term pavement warranty are studied in this study. In the first fiscal year, eye-estimation by road administer and measurement by mobile mapping system were conducted to grasp the actual damages. Besides, the possibility of porous asphalt pavement evaluation were conducted to propose evaluation indexes of porous asphalt pavement.

〔研究目的及び経緯〕

本課題では平成 13 年 6 月に制定された「舗装の構造に関する技術基準」をフォローアップするため、舗装の要求性能及び長期保証制度に関する研究を実施している。

今年度は、排水性舗装の破損実態の把握と評価指標の提案のため、現場職員による目視及び聞き取り調査、並びに MMS (移動計測車両による測量システム) による調査結果の比較を行い、排水性舗装の評価の可能性を検討した。

〔研究内容及び研究成果〕

1. 調査の概要

今回の調査対象は中国地方整備局岡山国道事務所管内、福山河川国道事務所管内及び広島国道事務所管内の国道 2 号、30 号及び 180 号である。調査対象区間は 66 箇所、測定延長は約 2km である。本調査では、はじめに道路管理者による目視点検を行い、次に MMS を用いて骨材損失量を算出した。

2. 目視点検結果

目視点検は『舗装点検要領』の 3 区分を参考に、表 1 に基づいて 5 段階評価とした。また、目視の結果は図 1 に示すシートにとりまとめた。

表 1 目視点検の評価

指標	状態
5	健全
4	軽度の異常あり (経過観察)
3	中度の異常あり (補修が必要)
2	重度の異常あり (早急な補修が必要)
1	より重度の異常あり (至急の補修が必要)

図 1 評価シートの例

目視点検結果を図 2 に示す。評価 4 の箇所が最も多く 49 箇所あり、次いで評価 3 が 16 箇所、評価 1 が 1 箇所 (写真 1) あった。また、聞き取り調査を行った結果

- ・局所的な判断と 200m 区間での判断は異なる場合が多い
- ・排水性舗装の開口幅 1mm 程度の亀裂は、空隙等の存在により現場で認識することは難しい
- ・排水性舗装は特に交差点付近 (バス、大型車の制動により摩耗剥離している可能性が大) が課題等のコメントが得られた。

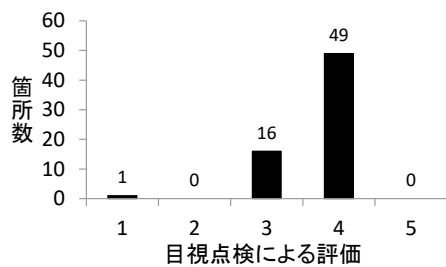


図2 目視点検結果



写真1 評価1と判定された筒所の舗装

3. MMSによる骨材損失量算出

評価1と評価された筒所(写真1)でMMS測定により得られた点群画像を図3に示す。また、点群データから作成した断面図を図4に示す。これらの画像からわだち掘れや路面の荒れの状況が確認できた。

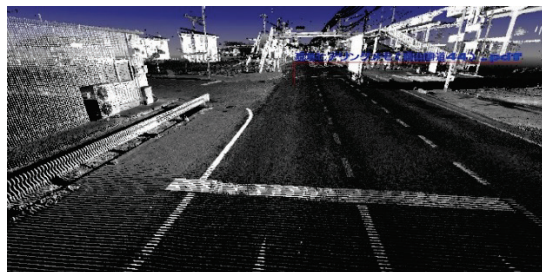


図3 評価1と判定された筒所の点群画像

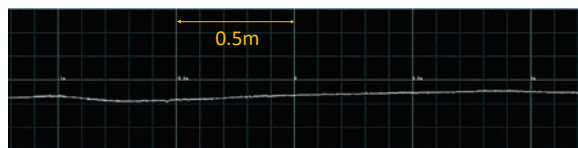


図4 点群データから作成した断面図

骨材損失量算出の概念を図5に示す。算定は、道路路面での最高標高部と路面幅での平均高さを算出し、その差分量を骨材損失量として算出した。今回の調査では、道路幅員約2.7m間の横断面図から、その頂部の高さから平均的な横断方向の高さを差し引いて求めている。その際、路面の横断方向における傾斜を補正するため、

道路の両端部の標高を補正後に算出している。

MMSにより骨材損失量を算定した結果、骨材損失量のヒストグラムは図6のとおりとなった。道路幅員約2.7m幅あたりの骨材損失量は2~15mm程度であり、平均値は約6.6mmであった。また、わだち掘れ量との比較を行った結果を図7に示す。相関係数が約0.46であり、ある程度の相関性が認められた。

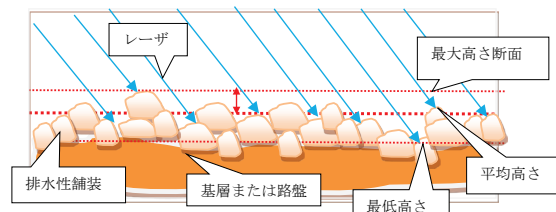


図5 骨材損失量算出の概念

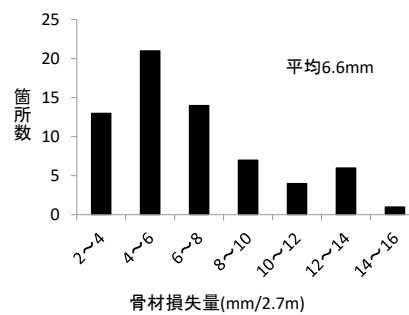


図6 骨材損失量のヒストグラム

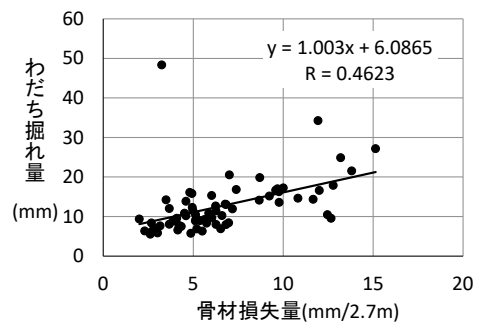


図7 骨材損失量とわだち掘れ量の関係

4. まとめ

本研究により、三次元点群データを用いた骨材損失量の算定方法を提案することができた。今後は、骨材損失量の管理目標について検討していきたい。

[成果の活用]

各種論文(日本道路会議)等で発表予定。

[成果の活用]

『舗装設計施工指針』及び『舗装の維持修繕ガイドブック』等へ反映予定。

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)

道路構造物研究部道路地震防災研究室
Road Structures Department
Earthquake Disaster Management Division

室長	片岡 正次郎
Head	Shojiro Kataoka
主任研究官	中尾 吉宏
Senior Researcher	Yoshihiro Nakao
研究官	中川 量太
Researcher	Ryota Nakagawa

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〕

既設道路橋には、耐震補強による合理的な安全性の確保に際し、地盤と一体で耐震性を検討することが不可欠なものがあることから、基盤面で定められた設計地震動（以下、「設計基盤地震動」とする。）が必要とされている。そこで、本研究は、強震記録の分析により地盤震動特性を評価し、地表面で定められた現行の設計地震動と整合する設計基盤地震動を取りまとめることを目的としている。

28 年度は、平成 28 年熊本地震により強い地震動が繰り返し各種施設に作用して被害が生じた状況に対応し、同地震で観測された強い地震動の繰り返し入力が道路橋の耐震性に及ぼす影響について検討を行った。また、熊本地震の強震記録を用いた地盤の地震応答解析により基盤地震動を求め、過年度に既往の被害地震を対象として求めた基盤地震動のデータを補強した上で、設計基盤地震動の素案を作成した。

〔研究内容〕

1. 強い地震動の繰り返し入力の影響に関する検討

熊本地震で強い地震動が生じた地域を対象として道路橋を設計し、熊本地震により同一地点で繰り返し生じた地震動を順次作用させて非線形動的解析を行う。解析には、繰り返し入力による橋脚の耐力低下が考慮できる履歴モデルを用いる。履歴モデルには、既往の実大実験で確認されている繰り返し載荷時の橋脚の応答特性を踏まえた修正を施す。解析結果に基づき、熊本地震によって生じた強い地震動の繰り返し入力に道路橋の耐震性に及ぼす影響について検討する。

2. 設計基盤地震動の素案作成

熊本地震で代表的な強震記録が得られた観測点のう

ち、地盤の地震応答解析に必要な地盤情報が整備されている地点で地盤モデルを作成する。地表面又は地中で観測された地震動を用いて、等価線形化手法により地盤の地震応答解析を行うことで、基盤地震動を求める。地表面と地中で強震記録が得られている地点は、地表面又は地中の強震記録を入力地震動として用いた地盤の地震応答解析を行い、他点で観測されている地震動の再現性を確認することで、作成した地盤モデルの妥当性を検証する。熊本地震による基盤地震動の算定結果を過年度成果に加えることにより基盤地震動に関するデータを補強した上で、内陸直下型地震及びプレート境界型地震の設計基盤地震動の素案を作成する

〔研究成果〕

1. 強い地震動の繰り返し入力の影響に関する検討

図-1 に熊本地震で観測された代表的な地震動の加速度応答スペクトル（減衰定数 5%）を示す。図から、一般的に構造物への影響が大きいとされる固有周期 1～2 秒程度の加速度応答スペクトルは、Ⅱ種地盤及びⅢ種地盤で大きい。そこで、熊本地震による地震動の繰り返し入力の影響について、ここでは、Ⅱ種地盤及びⅢ種地盤の地震動を用いて検討した結果例を示す。検討に用いた道路橋のモデル（Ⅱ種地盤：3 モデル、Ⅲ種地盤：5 モデル）と入力地震動の組み合わせを表-1 に示す。入力地震動の情報としては、地震動の観測点名と、解析対象とする地震動を生じさせた地震を示している。なお、K-NET 熊本及び K-NET 宇土は、地下 20m までの地盤情報が得られており、Ⅱ種地盤と推察されるが、S 波速度 300(m/s)までの地盤情報がないため、Ⅲ種地盤としても扱う。

ここで、レベル2地震動に対する道路橋の耐震設計で考慮されている限界状態（損傷修復を容易に行うる状態）は、鉄筋コンクリート橋脚の正負交番載荷実験に基づき求められている。実験で考慮された地震動の繰り返し作用は、塑性率2~3及び塑性率3~4の応答が、それぞれ6回である。一方、表-1には、繰り返し入力により道路橋モデルに塑性率2~3及び塑性率3~4の応答が生じた回数を示している。何れの道路橋モデルの結果も入力地震動によらず実験で載荷された6回を下回る。従って、熊本地震により繰り返し同一地点で生じた地震動は、現行規準の限界状態の設定で考慮された繰り返し載荷の範囲に収まるものであり、現行基準で耐震設計された橋脚は、熊本地震による地震動の繰り返し入力に対応している。

2. 設計基盤地震動の素案作成

熊本地震の代表的な強震記録を用いて基盤地震動を求めた結果を図-2(1)に示す。図-2(1)及び(2)には、それぞれ、既往の内陸直下型地震及びプレート境界型地震により生じた基盤地震動を求めた結果も示している。

設計基盤地震動の設定では、基盤地震動の一つ一つの特性よりも、平均的な特性を踏まえることが重要であることから、個々の基盤地震動の加速度応答スペクトルの凹凸を平滑化し、図-2に示す設計基盤地震動の素案を作成した。ここで、個々の基盤地震動の中には、短い固有周期でスペクトルが著しく卓越するものもあるが、これまでの被災状況から、こうした地震動の短周期成分により橋の構造安全性に大きな影響は生じていない。この様な経験上の事実を踏まえ、短い固有周期における特別に大きなピークは平滑化している。設計基盤地震動の素案は、S波速度300~500(m/s)程度の基盤面における地震動のスペクトルを概ね包絡するが、S波速度 ≥ 600 (m/s)の基盤面の地震動のスペクトルに比べやや大きい設定となっている。今後、設計基盤地震動の本設定に向け、以下の検討が必要である。

- ① 設計基盤地震動を設定する基盤のS波速度
- ② 地表面の設計地震動との整合
- ③ 基盤地震動を用いた耐震設計の導入の影響
- ④ ①~③を踏まえた設計基盤地震動の更なる見直し

[成果の活用]

道路橋耐震補強便覧に反映する。

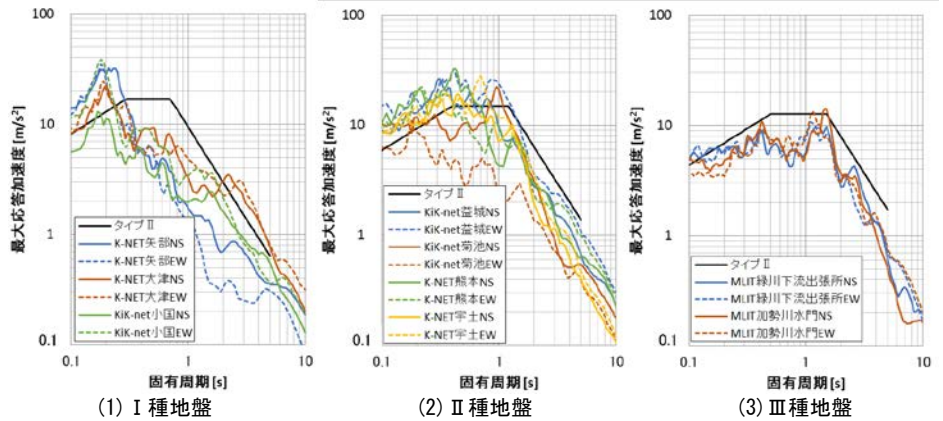


図-1 熊本地震で生じた地震動

表-1 道路橋モデルと繰り返し入力に用いた地震動

地盤種別	橋梁	固有周期	繰り返し入力	塑性率	
				2~3	3~4
II	A	1.00	KiK-net 益城 最大前震+前震①+前震②+本震+余震	1	0
			K-NET 熊本 最大前震+本震+余震	0	0
			K-NET 宇土 最大前震+本震	0	0
			KiK-net 豊野 最大前震+本震	0	0
	B	1.64	KiK-net 益城 最大前震+前震①+前震②+本震+余震	0	0
			K-NET 熊本 最大前震+本震+余震	0	0
			K-NET 宇土 最大前震+本震	0	0
			KiK-net 豊野 最大前震+本震	0	0
	C	1.83	KiK-net 益城 最大前震+前震①+前震②+本震+余震	0	0
			K-NET 熊本 最大前震+本震+余震	0	0
			K-NET 宇土 最大前震+本震	0	0
			KiK-net 豊野 最大前震+本震	0	0
III	D	0.50	K-NET 熊本 最大前震+本震+余震	2	0
			K-NET 宇土 最大前震+本震	2	0
			加瀬川水門 最大前震+本震	0	0
			緑川 最大前震+本震	0	0
	E	0.69	K-NET 熊本 最大前震+本震+余震	0	0
			K-NET 宇土 最大前震+本震	0	1
			加瀬川水門 最大前震+本震	0	0
			緑川 最大前震+本震	0	0
	F	0.88	K-NET 熊本 最大前震+本震+余震	0	0
			K-NET 宇土 最大前震+本震	3	0
			加瀬川水門 最大前震+本震	0	0
			緑川 最大前震+本震	0	0
G	1.00	K-NET 熊本 最大前震+本震+余震	0	0	
		K-NET 宇土 最大前震+本震	3	1	
		加瀬川水門 最大前震+本震	0	0	
		緑川 最大前震+本震	0	0	
H	1.08	K-NET 熊本 最大前震+本震+余震	0	0	
		K-NET 宇土 最大前震+本震	1	0	
		加瀬川水門 最大前震+本震	2	0	
		緑川 最大前震+本震	0	0	

最大前震:4/14 21:26 発生、前震①:4/14 22:07 発生、前震②:4/15 00:03 発生、本震:4/16 01:25 発生、余震:4/16 01:45 発生

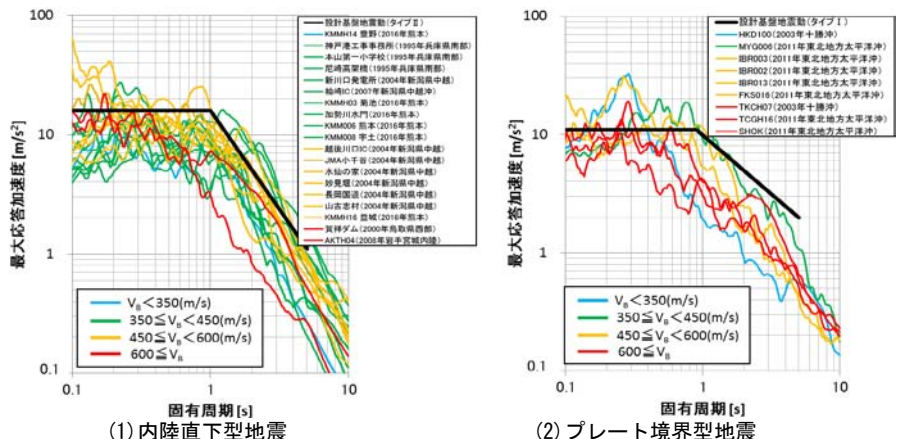


図-2 基盤地震動の素案

道路事業における入札・契約制度の改善効果の評価に関する検討

Study on the evaluation of improvement effect on the bidding and contracting system

(研究期間 平成 28～30 年度)

社会資本マネジメント研究センター 社会資本マネジメント研究室

Research Center for Infrastructure Management Construction and Maintenance Management Division

室長 小川 智弘

Head, Tomohiro OGAWA

主任研究官 菊田 友弥

Senior Researcher, Tomoya KIKUTA

研究官 根津 佳樹

Researcher, Yoshiki NEZU

交流研究員 大沼 孝之

Guest Research Engineer, Takayuki OONUMA

主任研究官 富澤 成実

Senior Researcher, Narumi TOMISAWA

研究官 大野 真希

Researcher, Masaki ONO

交流研究員 尾浦 猛人

Guest Research Engineer, Taketo OURA

The Quality and Cost Based Selection (QCBS) 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 evaluating of improvement effect on the bidding and contracting system.

〔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、国土交通省発注の工事では、平成 17 年度より総合評価落札方式を拡大し、現在では、ほぼ全ての工事で同方式を適用している。また、国土交通省発注の調査・設計等業務においても、平成 20 年度より発注方式の 1 つとして同方式を本格導入しており、同方式による発注の際には、企業・技術者の技術力を評価した上で、技術と価格が総合的に優れた者と契約している。

国土技術政策総合研究所では、工事及び調査・設計等業務の入札・契約制度を研究しており、これまでに、総合評価落札方式の制度設計、低入札等の入札・契約の諸課題について調査・分析を行い、改善策を提示してきた。また、国土交通省の各地方整備局等から入札・契約の実施状況の情報を収集し、実態をモニタリングすることなどにより、これまでの改善策の効果計測や、新たな課題の抽出等を行っている。

本稿では、調査・設計等業務の入札・契約の動向、制度改善に向けた取組の分析結果を報告する。

〔研究内容及び成果〕

1. 国土交通省発注の調査・設計等業務の入札・契約の動向

平成 19 年度以降の発注方式別の契約件数の推移を図-1 に示す。平成 27 年度の調査・設計等業務の総発注件数は 11,608 件で、前年度 (12,225 件) より 5.0%減少した。平成 20 年度の総合評価落札方式の本格導入以

降、同方式による件数の割合は経年的に増加し、平成 26 年度に 5 割を超え、平成 27 年度には過去最大 (51.8%) となった。この傾向と対照的に、価格競争方式の割合は減少傾向が続いている。また、プロポーザル

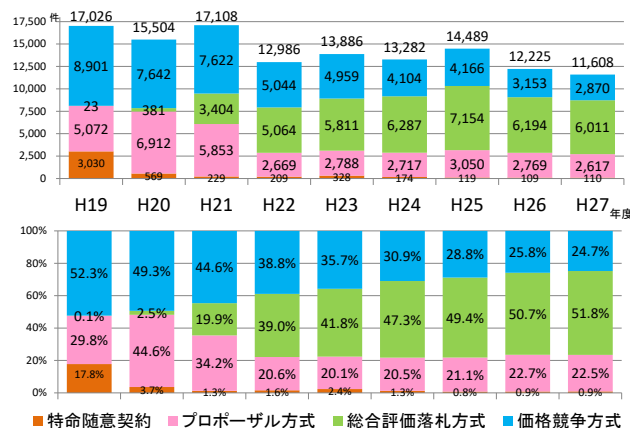


図-1 発注方式別契約件数・割合の推移

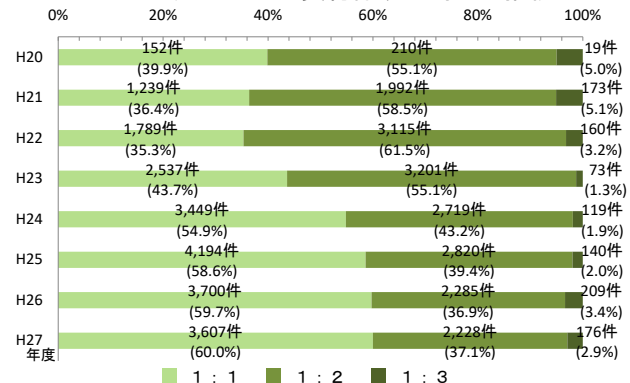


図-2 総合評価落札方式の配点比率別の契約件数の推移

方式は、平成 22 年度以降は 2 割程度で推移している。平成 20 年度以降、価格競争方式・プロポーザル方式から総合評価落札方式への移行が進み、近年では、価格競争方式から総合評価落札方式への移行が継続していると見ることができる。

総合評価落札方式の配点比率（価格点：技術点）別の契約件数の推移を図-2 に示す。平成 27 年度は、1：1 は 60.0%、1：2 は 37.1%、1：3 は 2.9%となった。経年的に 1：1 の件数の割合は増加しており、評価テーマに対する技術提案を求めずに実施方針のみで評価を行う「簡易型」が選好される傾向にある。

2. 技術者評価を重視した選定の試行

2.1 試行の背景

総合評価落札方式で評価テーマに対する技術提案を求める「標準型」（1：2 または 1：3）の業務では、受注者側では技術提案の作成、発注者側では技術提案の審査など、双方に負担感が大きい状況となっている。このため、評価テーマに対する技術提案に代えて、技術者の過去の成績と実施方針のみで評価する試行を平成 26 年度より地方整備局が発注する一部の業務で実施している。

2.2 試行内容

以下に平成 26 年度と平成 27 年度の試行の内容をまとめた。

- (1) 対象工種：総合評価落札方式「標準型」で発注すべき業務のうち、河川事業の堤防・護岸設計、道路事業の道路予備設計（用地幅）、構造物予備設計（一般）、構造物詳細・補修設計（一般）、道路詳細設計（一般）の 5 工種。
- (2) 試行規模：対象業務の概ね 2 割程度。
- (3) 発注方式：総合評価落札方式（1：3）、評価テーマは設定しない。
- (4) 入札段階の技術評価：予定技術者の「実績等」「成績・表彰」及び「実施方針」に対する評価ウェイトは、図-3 のとおり。

2.3 試行結果の分析及び評価

(1) 実施規模

対象工種の契約件数は 276 件（平成 26 年度と平成 27 年度の合計）。このうち、84 件（30%）で試行を実施した。なお、総合評価落札方式「標準型」の全体（4,898 件）に占める割合は 2%となった。

(2) 入札の競争性・占有率

試行の有無による入札参加等の傾向を表-1 に示す。1 業務あたりの入札参加者数、1 業務あたりの参加表明者数、落札上位 3 社占有率、入札上位 5 社占有率のいずれについても試行の有無による大きな差は生じなかった。

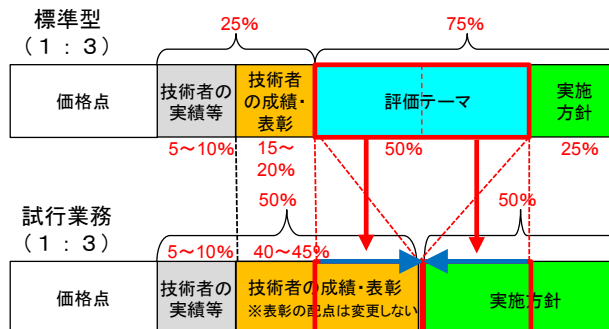


図-3 配点のイメージ

表-1 試行の有無別の入札参加等の傾向

業務件数	入札参加者数		参加表明者数			
	延べ	1業務あたり	延べ	1業務あたり		
試行あり	84	646	7.7	697	8.3	
試行なし*	192	1,430	7.4	1,633	8.5	
			落札件数上位 3 社		入札参加上位 5 社	
			総落札件数	占有率	延べ参加件数	占有率
試行あり			22	26%	169	26%
試行なし*			51	27%	368	26%

*本試行の対象工種のうち、評価テーマを設けて通常どおり調達した業務。

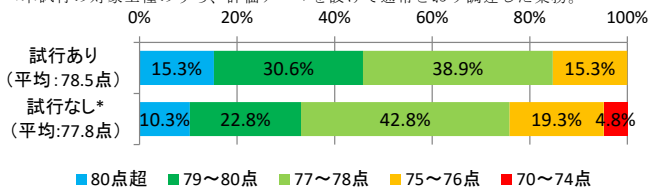


図-4 試行の有無別の業務成績評定点の分布

(3) 業務成績評定点の分布

試行の有無による業務成績評定点の分布を図-4 に示す。試行した業務の成績評定点の平均は、試行しない業務より高く、また、得点の分布も高い傾向を確認した。このことは、本試行の対象の設計を中心とした 5 工種では、入札時に評価テーマを設定して技術提案を求めるよりも、過去の技術者成績を重視する方が、成績評定点の向上に貢献したと捉えることができる。

(4) その他

上述の入札状況、業務成績評定点のほか、落札者の技術点・価格点の順位、入札率・落札率の分布、技術点・価格点の 1 位と 2 位の差の分布等についても分析評価を行った結果、試行の有無による大きな差は確認されなかった。

【成果の活用】

国土交通省発注の調査・設計等業務の入札・契約の動向については、年次報告としてとりまとめ、「調査・設計等分野における品質確保に関する懇談会」に報告するとともに、ウェブサイト上 (<http://www.nilim.go.jp/lab/peg/theme03.html>) で公表した。

また、技術者評価を重視した選定の試行状況についても分析結果を同懇談会に報告し、今後の入札・契約制度の改善のための基礎資料として活用された。

調査・計画から維持管理までの全体プロセスにわたる

新たな事業執行・監理方式についての検討

Study on cross staging construction and maintenance management system for public works

(研究期間 平成 28～30 年度)

社会資本マネジメント研究センター 社会資本マネジメント研究室

Research Center for Infrastructure Management Construction and Maintenance Management Division

室 長 小川 智弘

Head, Tomohiro OGAWA

研 究 官 大野 真希

Researcher, Masaki OONO

交流研究員 尾浦 猛人

Guest Research Engineer, Taketo OURA

主任研究官 中洲 啓太

Senior Researcher, Keita NAKASU

交流研究員 大沼 孝之

Guest Research Engineer, Takayuki OONUMA

In order to improve the quality and productivity of public works, NILIM is carrying out study on cross staging construction and maintenance management system from survey, planning to management. In this study, NILIM collected lessons by reviewing several projects in Japan and the world under the new methods such as Design-Build Early-Contractor-Involvement and Construction Management etc.

【研究目的及び経緯】

国土交通省では、2014年6月4日に公布され、即日施行された「公共工事の品質確保の促進に関する法律の一部を改正する法律（平成26年法律第56号）」を踏まえ、工事の性格、地域の実情等に応じた多様な入札契約方式の活用に取り組んでいる。近年、労働人口の減少等を背景に官民を問わず担い手の確保が課題であり、官民双方の資源や知見を融合しながら、大規模災害、更新、修繕等への対応が求められる。

本調査は、設計・施工一括発注方式、技術提案・交渉方式、事業監理業務（事業促進 PPP、コンストラクション・マネジメント）、維持管理の包括契約、災害時の契約等の実施状況を把握し、調査・計画から維持管理までの全体プロセスにわたる新たな事業執行・監理方式を提案することを目的とする。

【研究内容及び成果】

① 設計・施工一括発注方式の実施状況整理

平成17～28年度に実施された国土交通省直轄工事における総合評価落札方式・技術提案評価型（A型/設計・施工一括発注）工事でのリスク発現事例を整理した。調査対象は、AII型23件（橋梁13件、トンネル10件）、AIII型3件（トンネル3件）とし、本調査では、リスクを「設計図書と異なる、あるいは入札時に想定していなかった

自然条件・社会条件等の発生」と定義した。リスクの種類別の発生状況を図-1に示す。リスクは、関係機関協議（19件）、土質・地質条件（11件）、地中障害物（9件）の順に多く生じた。

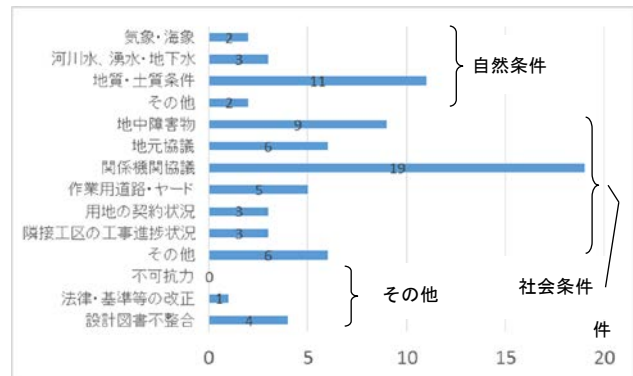


図-1 リスクの発現状況

設計・施工一括発注工事では、施工者の高度な技術力を積極的に活用する観点から、発注者が構造、工法等の詳細を指定しない場合がある。一方で、リスクの発現状況を分析すると、安全や品質に係る協議等、発注者の関与が重要となる協議に係るリスクが存在し、発注者が発注時に標準案を示さず、施工者の創意工夫に期待する場合でも、受発注者が協力的に課題解決にあたることの重要性が示された。また、設計・施工一括発注方式は、受注者の責任で対処可能なレベルまで、発注者が設計・施

工条件を明示できる状況での適用が前提となる。

② 技術提案・交渉方式等の課題整理

国土交通省直轄工事における技術提案・交渉方式の運用ガイドライン（平成 27 年 6 月）に対する地方整備局等からの問合せ状況、国内他機関における技術提案・交渉方式の実施状況、米国の CM/GC 契約の実施状況等を踏まえ、技術提案・交渉方式等の課題を整理した（表-1）。

表-1 技術提案・交渉方式適用上の課題

区分	内容
適用条件	<ul style="list-style-type: none"> 技術提案、工費の柔軟性とリスク管理 設計・施工一括タイプでのリスク管理 小規模工事への適用のしやすさ
優先交渉権者選定	<ul style="list-style-type: none"> 条件未確定段階でのテーマ設定 理解度等のヒアリング結果反映方法
実施設計（協力含む）	<ul style="list-style-type: none"> 施工者の協力開始時期の早期化 純分な設計（協力含む）・交渉期間確保 設計と価格交渉の同時進行化
発注者支援	<ul style="list-style-type: none"> 発注者側の評価、交渉、設計体制
リスク分担	<ul style="list-style-type: none"> 提案内容の契約図書（仕様書）への反映 契約不履行時のペナルティ 設計変更ガイドライン等踏まえた対応
支払い方式	<ul style="list-style-type: none"> 見積りの妥当性評価

③ 事業監理業務の実施状況

災害復興市街地整備において、発注者の委託を受けた CMR（コンストラクション マネージャー）が、専門業者に対し、調査・測量・設計・工事等の業務委託等を行う事業監理業務（図-2）の実施状況を調査した。CMR が調査・測量・設計・工事を一体的にマネジメントすることにより、設計完了前での工事着手、大規模機械の導入等による工期短縮等の効果がみられた。一方で、調査等が未着手の段階で業

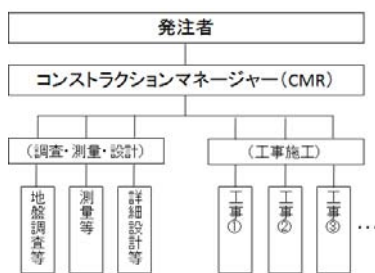


図-2 復興市街地の実施体制

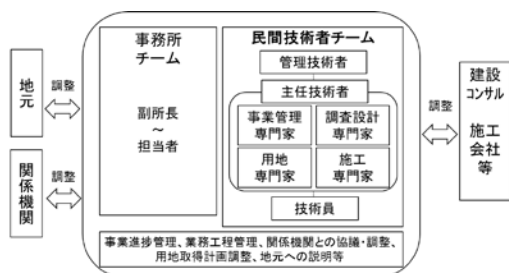


図-3 事業促進PPPの実施体制

務契約を結ぶことから、地質、協議等のリスクが発現し、設計変更を行う例が見られた。

東北地方整備局の復興道路事業における事業監理業務（事業促進PPP）は、発注者と調査・設計、用地、施工等の民間技術者が一体となった体制（図-3）を構築し、工事発注前に、調査、設計、用地、施工等に係る知見、体制を導入し、工事契約前の期間短縮と施工契約後の手戻り回避に重点を置いた方式である。

調査対象とした事業監理業務（復興市街地、復興道路）は、いずれも地質、協議等に係る一定のリスクを発注者が負い、監理業務の受発注者から受発注者間の協力的な関係構築、円滑な情報伝達の重要性が指摘された。

④ 実費精算による支払い方式

技術提案・交渉方式のように、施工者が設計に関与し、施工者との交渉により工費を定める場合、支払いの透明性確保が課題となる。そのため、実費精算による支払い方式（コスト+フィー、オープンブック方式）の国内他機関における適用事例を収集し、方式の概要、課題等を整理した。また、実費精算による支払い方式の簡素化を検討するため、原価/率の設定範囲の変更、工事の一部（積算基準、類似実績がない部分）で原価開示を求める方法等について調査した。

⑤ 災害等の非常時における入札契約方式

過去 5 年間で激甚災害に指定された災害のうち、直轄管理施設の被害が特に大きかった 5 件の災害を対象として、入札契約方式の適用状況等を収集した。その上で、随意契約、指名競争、一般競争等の入札契約方式を、被害の状況、施工者側の状況等を踏まえつつ、短期間で適切に選択できるよう、災害時における入札契約方式選定の基本的考え方を整理した。

【成果の活用】

本調査の成果は、発注者責任を果たすための今後の建設生産・管理システムのあり方に関する懇談会（平成 28 年度 1～3 回）、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 28 年度 1～2 回）の資料等に反映された。

29 年度以降は、総合評価落札方式の運用ガイドライン、技術提案・交渉方式の運用ガイドライン、災害等の非常時の入札契約方式適用のガイドラインの改定、作成において成果を活用する。また、地方整備局の災害復興等における事業監理業務の実施状況を含む新たな事業執行・監理方式のレビューを継続し、地方整備局の新たなマネジメント体系の検討における基礎資料としても活用する。

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)

社会資本マネジメント研究センター
社会資本情報基盤研究室
Research Center
For Land and Construction Management
Information Platform Div.

室長	関谷 浩孝
Head	Hiroataka SEKIYA
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/Management (CIM) application, with the aim to improve our construction production system and the productivity using ICT technology. This research find the effect and the problem for using the CIM model 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/Management（以下、CIM という。）の導入普及に取り組んでいる。

CIM は、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3次元モデル（以下、CIMモデルという。）である。これを利用することで、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。

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 CIM の活用が進んでいない。

当研究室ではこれまでに、維持管理段階での CIM 活用に向けた研究を行ってきた。過年度の研究成果のひとつとして、維持管理段階で必要となる CIM モデルの詳細度や、CIM モデルへ付与する属性情報を整理した「CIM モデル作成仕様【検討案】1」（以下、「CIM モデル作成仕様」という）を作成し、維持管理に必要な CIM モデルの要件を示した。しかし、実際の維持管理業務へ適用した検証は行われていなかった。

そこで、本研究では、維持管理業務での現場試行を通し、CIM モデル作成仕様の妥当性を検証するものである。

〔研究内容〕

CIM モデル作成仕様に基づき、実存する橋梁の CIM モデルを作成した。また、この CIM モデルをベースとして、GIS と CIM モデルを組み合わせた維持管理情報の統合管理システムのプロトタイプ（以下、統合管理システムという。）を構築した。

次に、この統合管理システムを点検業務に適用し、現場活用を通し、CIM モデル作成仕様の妥当性を検証した。検証の観点を以下に示す。

A) CIM モデルの詳細度やモデルの分割

CIM モデル作成仕様では、目的に応じた詳細度で CIM モデルを作成することや、点検要素単位での分割による属性情報の可視化を提案している。このような目的別の詳細度設定および要素分割について維持管理業務の中で妥当であるかを検証した。

B) 属性情報の付与

維持管理における CIM モデルの活用場面として、情報の一元管理を担うプラットフォームとしての役割が期待されている。属性情報として付与すべき情報の種別が十分であるか、また、外部ファイルとのリンクといった情報の紐付け方法や、情報の検索性、更新にかかるとの時間等の面から検証した。

C) CIM モデル活用の効果

損傷の 3 次元的な記録等、これまで 2 次元図面上で

管理していた情報を 3 次元の空間上に記録することによる効果を確認した。

【研究成果】

主な研究成果の概要を以下に示す。

1. 属性情報を付与した統合管理システムの構築

構築した統合管理システムの利用イメージを図-1 に示す。これは、道路管理は広域が対象となるため、GIS を用いて関連施設の位置情報を管理し、個別の橋梁について詳細な情報は、GIS とリンクした CIM モデルを参照して資料を検索する仕組みである。



図-1 統合管理システムの利用イメージ

2. CIM モデル作成仕様の妥当性

点検業務に統合管理システムを適用し、現場試行およびヒアリングにより CIM モデル作成仕様の妥当性を検証した。

主なヒアリング結果を以下に示す。

■効果

A) CIM モデルの詳細度やモデル分割

- ・点検要素単位の評価で可視化されており、点検の漏れ（見落とし）を防ぐ効果もある。
- ・属性情報として 3 次元モデル上で可視化され、視覚的に理解しやすい。従来は、一般図・損傷図・損傷写真の 4 種類の点検調査を見比べる必要がある。特に経験の浅い技術者には有効。

B) 属性情報の付与

- ・変状ごとの写真や、構造体ごとの図面等が検索・参照できることは有効。現状は、書架で該年度の報告書を全て探しており、比較すると効率化に繋がる。

C) CIM モデル活用の効果

- ・ 3 次元的な損傷表現があることにより、点検結

果の診断会議等で合意形成が迅速に行える。

■課題

- ・ひとつの点検や補修工事に複数橋が含まれるケースが多い。そのため事務所にて橋梁毎に情報を分けて登録する行為は煩雑。
- ・点検記録を後から整理する作業は手間が多い。例えば、撮影した写真は、似たような写真が並び、どの部位を撮影した写真かわからない。写真位置が自動で分かると良い。

結果、CIM モデルの詳細度や要素分割による可視化については、十分に効果が得られていると言える。次に、属性情報については、情報が一元管理されていることで現状よりも情報の検索性が高まり作業効率化に繋がるとの意見が多くあった。また、情報を可視化することにより、特に経験の浅い技術者をサポートする仕組みとして CIM モデルの有効性が実証された。

この試行で得た知見は以下の各資料に反映している。

- ・ CIM モデル作成仕様【検討案】H28.4 版の更新
 - 3 次元的な損傷の記録といった活用効果等を追記。
- ・ 維持管理用の情報基盤の要件定義（案）
 - CIM モデルからの情報検索や、情報更新等、維持管理用の情報基盤に求められる要件について取りまとめた資料として新規に作成
- ・ 維持管理用の情報基盤を用いた維持管理情報の統合／運用ガイドライン（案）
 - 統合管理システム構築で得たノウハウを元にシステム構成等の動作環境を取りまとめた資料として新規に作成
- ・ 維持管理用の情報基盤の利用マニュアル（案）
 - 維持管理用の情報基盤の利用方法について、具体的な手順としてまとめた資料として新規に作成

【成果の活用】

国土交通省にて策定を進めている「CIM 導入ガイドライン」が H28 年度末に公開される。本ガイドラインに基づき、土木の様々な場面で CIM の運用事例が積み上げられていくことになる。その中で、CIM 導入ガイドラインがブラッシュアップされ、より発展していくと考えており、本研究の内容についても維持管理での活用事例として、得られた知見を整理し、今後 CIM 導入ガイドラインへ掲載することを予定している。また、課題については今後の研究テーマとして検討を進め、更なる維持管理業務の効率化を目指していく。

道路整備等の生産性向上に資するロボット及び ICT 技術の利活用に関する調査

Survey on utilization of robot and ICT technology that contributes to productivity improvement such as road maintenance

(研究期間 平成 28 年度)

社会資本マネジメント研究センター
Research Center
for Infrastructure Management
社会資本施工高度化研究室
Advanced Construction
Technology Div.

室長
Head
研究官
Researcher

森川 博邦
Hirokuni MORIKAWA
長山 真一
Shinichi NAGAYAMA

In this research, in the effort of "i-Construction", as a countermeasure to new measuring instruments, follow-up survey of RTK-GNSS, etc., formulation management method using currently-used UAV, etc. and preparation of proposals such as procedure .

〔研究目的及び経緯〕

生産年齢人口の減少することが予想されている中において、我が国が経済成長を続けるためには、生産性向上は避けられない課題であることから、国土交通省では「i-Construction」により建設現場の抜本的な生産性向上を図ることとしている。

国土交通省では、i-Construction 施策として、平成 28 年度から国土交通省発注工事のうち一定規模以上の土工工事で施工プロセスの各段階において ICT を全面的に活用する「ICT 活用工事」を導入することとなった。

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への導入に向けた検討を行った。さらに、「i-Construction」の取り組みで、新たな計測機器の対応として RTK-GNSS の利用の検討と現在行われている空中写真測量（無人航空機：UAV）を用いた出来形管理要領等のフォローアップ調査による適用性の確認を行った。

〔研究内容・研究成果〕

1. RTK-GNSS を用いた効率的な施工管理手法構築に向けた整理

ICT を活用した面的な出来形管理のうち、小規模工事や再測に有効な計測方法として RTK-GNSS を用いた計測手法について検討した。

1) 計測性能と精度管理

RTK-GNSS の計測精度は衛星の状態によって、計測結果が変わることから、確実な出来形計測結果を取得するための計測手法および精度管理方法が求められる。計測性能については、国土地理院認定 1 級（2 周波）と同等以上の性能であること。精度管理

については、検定機関が発行する有効な検定証明書あるいは測量機器メーカーが発行する有効な校正証明書で確認ができることとした。

2) 出来形計測手法

① 出来形計測の前に、GNSS 座標系を現場座標系に変換する作業（ローカライゼーション）を実施することとした。

② 出来形計測時には、計測精度を確保しながら計測するため、工事基準点上で初期化を行い、直後のその基準点の計測値に大きな誤差がないことを確認する。出来形計測対象点に設置した上で、FIX 解を得てから 10epoch 以上を計測することとした。

出来形計測終了後は、再度、既知点確認を実施し、誤差がないことを確認することとした。

3) 出来形計測の精度と効果

計測精度は、GNSS による出来形計測と、基準とする TS による計測結果との比較を行なった。その結果、標高差は、天端部：平均-11mm、標準偏差 7mm、法面部：平均-19mm、標準偏差 8mm であり、差の平均に標準偏差の 3 倍を加えた値は、土工の面的な出来形管理に必要な計測精度の 50mm を満たしており、

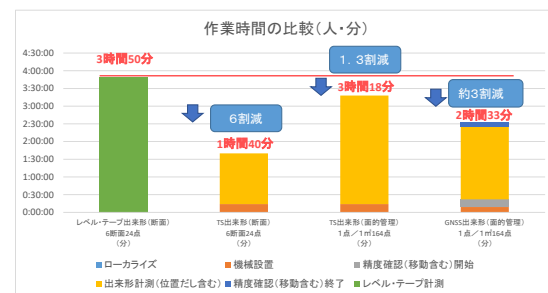


図-1 時間短縮効果 (RTK-GNSS)

GNSS で出来形計測が可能であることがわかった。

また、適用効果については、現地調査結果およびヒアリング結果から RTK-GNSS の面的な出来形管理への適用に関する時間短縮効果を検証した。(図-1)

2. 多点観測による出来形管理手法の改善に向けた整理

多点観測による出来形管理手法の適用性の調査として、i-Constructon 型工事を実施している現場において、多点計測機器による出来形管理と従来手法による出来形管理の二重管理を行い、精度比較や現場適用性と課題整理を実施し、多点観測による出来形管理手法の改善に向けた調査を行った。

1) 面的な出来形確認手法の計測精度

精度確認についての比較方法は施工者が取得した多点観測による計測点から T I N (不等辺三角網) データを作成し、同現場の T S で計測した座標の同一平面座標上における標高差を抽出することで、高さ精度を比較した。(表 1)

表 1 空中写真測量 (UAV) による出来形計測の精度

高さ精度	平均 (m)	標準偏差	最大 (m)	最小 (m)	母数
天端部	0.007	0.011	0.052	-0.019	130
法面部	0.001	0.012	0.022	-0.053	52

土工の面的な出来形管理に必要な計測精度は 50mm であるが、差の平均に標準偏差の 3 倍を加えても 50mm 以下となっていて、必要な精度が確保されている結果となった。

2) 適用効果

従来の出来形管理手法 (TS 計測) と空中写真測量 (UAV) の計測時間を比較し、作業時間の変化を確認した。比較時間は各作業時間に人工を掛けたものとした。

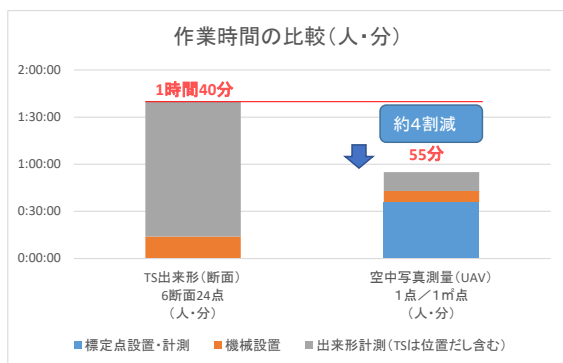


図-2 空中写真測量 (UAV) による出来形の作業時間

作業時間の比較結果より、多点観測技術の面的管理は、TS 手法の断面管理よりも作業時間が 4 割程度削減される結果となった。多点観測技術では計測自体が一度に広範囲の計測が可能であるため、現場計

測においては効率化する結果となった。

3. 施工データの納品仕様に向けた整理

i-Constructon で取得されたデータを電子納品工事完成図書としてどのように規定し納品させるべきかについて整理し、納品仕様の素案を整理した。

表 2 施工データの納品仕様案

項目	必要な属性
点群データ	・点群データの計測日時 →経時変化の基準時間の特定 ・計測機器名称 →データの精度
3次元設計データ (特に線形情報)	災害等の復旧作業等に元の線形情報を利用して復元
出来形管理結果	帳票様式あるいは3次元ビューワ

5. 出来形管理資料 (設計と出来形の差) の同一性が担保できる機能要求仕様書の整理

出来形管理資料の同一性が担保できる体系を TS 出来形管理等の既存の体系を参考に整理し、開発者が自主的に検証できるようなサンプルデータや機能確認方法・評価基準を策定した。

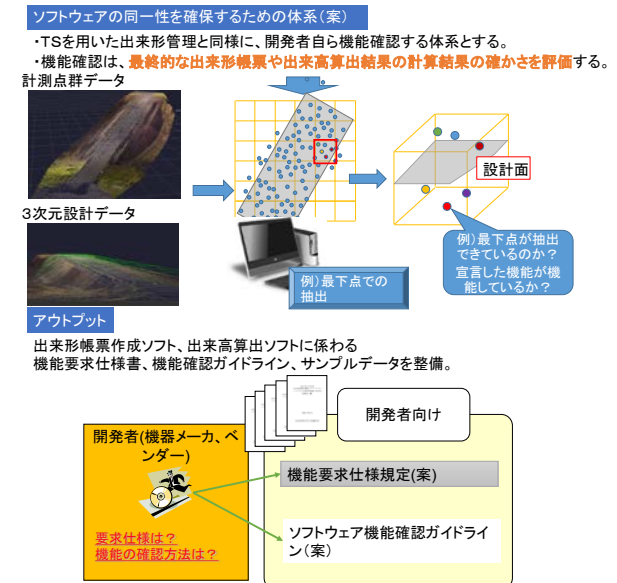


図-3 出来形管理資料の同一性を確保する体系 (案)

4. 成果の活用

i-Constructon の対応として新たな 3 次元計測機器である RTK-GNSS について適用可能であることが確認できた。また、要領化されている、空中写真測量 (UAV) についても、実工事における出来形管理での精度と適用効果を確認できた。それらの検討結果について ICT を活用した出来型管理要領 (案) 等の改定ために活用していきたい。さらに今後も現場試行等を重ねていき要領等の課題への対応を図って行きたい。