

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、道路構造物に統一的な信頼性の確保策の確立の一環として、これまで設計基準類において信頼性の観点から統一的な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、事故の起点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 事故の起点となった破壊箇所

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

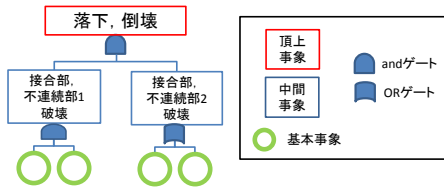


図-1 非構造部材の落下、倒壊を表す FT 下のパラメータを考慮することを提案する。

- ・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、一定の間隔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

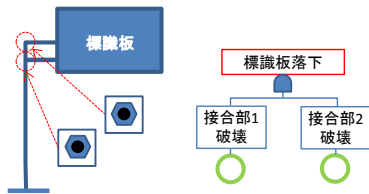


図-2 標識板落下の FT (F 型(接合部 2,ボルト 1))

表-3 試算ケース 1

ケース	ボルトの初期破壊確率		ボルトの破壊確率の1年あたりの上昇値			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

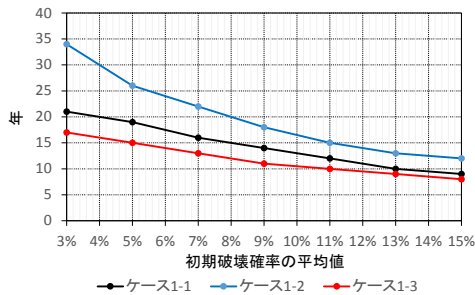


図-3 寿命の平均値 (初期破壊確率に着目)

絶対値には現実的な意味がない。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 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らず、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 5 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 5

ケース	ボルトの初期破壊確率		ボルトの破壊確率の1年あたりの上昇値			点検間隔
	平均値	標準偏差	下限値	平均値	上限値	
ケース 5	0.05	0.01	0.015	0.02	0.025	2年~ 10年

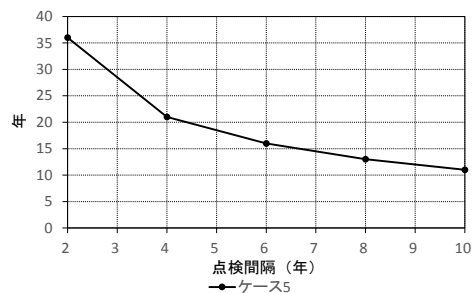


図-4 寿命の平均値 (初期破壊確率に着目)

【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

Senior Researcher

研究官

Researcher

交流研究員

Guest Research Engineer Mamoru MASAKI

白戸 真大

Masahiro SHIRATO

河野 晴彦

Haruhiko KOUNO

正木 守

室長

Head

研究官

Researcher

交流研究員

Guest Research Engineer

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研（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。

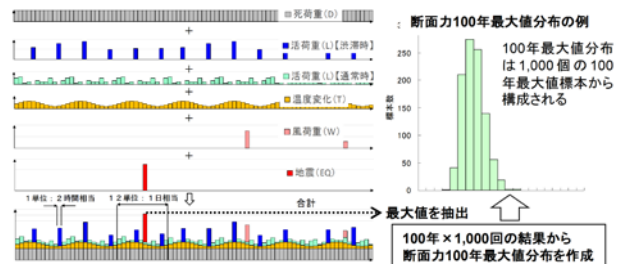


図1 シミュレーションのイメージ図

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膨大な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の観点で選定した過年度より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
- ②近年実績が増えつつある形式
- 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

(具体的には、鋼鈹桁、鋼少数鈹桁、鋼箱桁、PCT桁、PC箱桁、PCラーメン箱桁、波型鋼板ウェブ箱桁など)

3. 荷重組合せと荷重係数のシミュレーション結果

表2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2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。

風荷重(W)と地震の影響(EQ)が同時に作用する組合せは発生しなかった。また、D+EQの組合せに対してLを、D+EQ+SWの組合せに対してL, TH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、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2 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 (0.03)			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)		0.86~1.08 (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3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 (0.87)		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 (0.85)		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。

以上のように荷重シミュレーションの手法を見直し、また、シミュレーション対象橋梁数を増加させたことで、荷重組合せと荷重係数の信頼性を向上させることができた。

【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。他方、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ない不合理がある。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や実験結果を整理した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。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、せんパネ解析では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

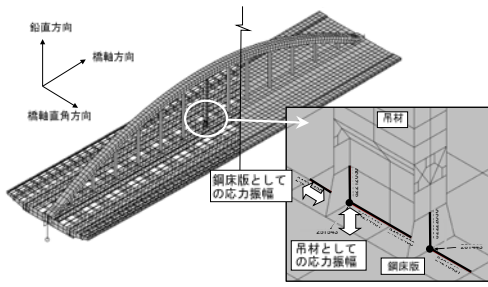


図1 鋼橋全橋解析モデルと局所部分の詳細図

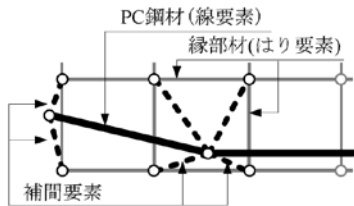


図2 PC鋼材のモデル化

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、

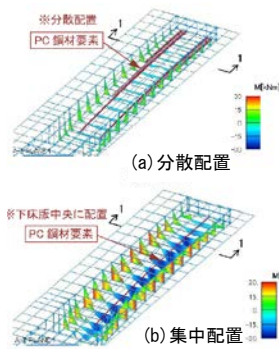


図3 腹圧力の評価
横方向曲げモーメント分布

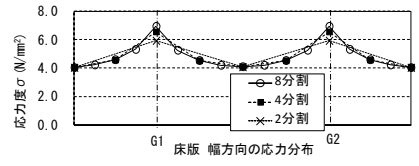


図4 床版の幅方向の要素分割数と応力分布

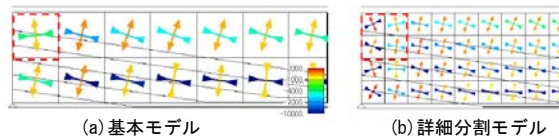


図5 プレストレス作用下の上床版の主応力分布

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。

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

道路構造物研究部 橋梁研究室

(研究期間 平成 27～30 年度)

室 長	星隈 順一
主任研究官	白戸 真大
研 究 官	河野 晴彦
交流研究員	窪田 真之

〔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、規定のない多様な接合機構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。

道路構造物の総合的アセットマネジメントシステムの構築のための調査

Study to establish comprehensive asset management system for road structures

(研究期間 平成 26 年度～28 年度)

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

研究官 宮原 史
Researcher Fumi MIYAHARA
交流研究員 中邨 亮太
Research Engineer Ryota NAKAMURA

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

星隈 順一
Takashi TAMAKOSHI
白戸 真大
Masahiro SHIRATO
河野 晴彦
Haruhiko KONO
松村 裕樹
Yuki MATSUMURA

NILIM studies how to utilize inspection data to make bridge management more strategic and rational. Using periodic bridge inspection data this study has modeled mean variant deterioration characteristics as a function of applied design specifications, materials types, structural element types, surrounding conditions and so on. This study also has shown that such deterioration characteristics will affect a huge variation in the life cycle costs estimation.

[研究目的及び経緯]

中長期的な維持管理の合理化のために道路構造物の維持管理に関わるデータを収集・蓄積し、分析することが期待されている。国が管理する道路橋では、効率的な予防保全を行うための知見を得ることも目的に、平成 16 年以降、定期点検において、従来の部材単位での診断に加え、さらに細かく分けた要素単位での客観的かつ詳細な状態記録を蓄積してきている。この詳細な状態記録を統計的に整理することで、劣化特性の把握や部材の状態予測のための遷移確率及び劣化曲線の作成ができる。また、これらの劣化特性が得られ、さらに、補修を行うと判定する状態指標と補修を行う範囲、補修単価を仮定しさえすれば、将来の維持管理費（以下、LCC）について何らかの計算値は得られる。しかし、問題はその信頼性と解釈である。

橋梁の劣化過程は、本来ばらつきが大きい、すなわち、LCC の計算結果を確定的に扱うことができず、計画策定時には、計算結果の取り扱いに注意を要する可能性が高い。また、実際の補修判断は、その時々で工学的に行うが、LCC 計算上の補修判断は、補修を行うと判定する状態指標と補修を行う範囲、補修単価の仮定の産物であって、実際とは常に異なる。仮定方法には正解がないため、仮定方法の違いが LCC 計算結果にどのように影響を及ぼすのかも維持管理計画策定時に、注意を払うべきと考えられる。

そこで、本研究では、まず、点検結果を分析し、ば

らつきを含めた経年劣化特性をモデル化した。次に、劣化のばらつきと補修を行う状態の違いが個々の橋梁の LCC 計算結果に与える影響を整理した。

[研究内容及び成果]

1.劣化特性に関するデータ集の作成

本研究では、必ずしも実際の劣化を再現するものではないものの、様々な推計に使えるように、橋梁定期点検結果から要素データを集計し、主要な部材の主要な損傷に対して、劣化特性をモデル化した。

国の定期点検では、診断とは別に詳細かつ客観的な状態データを取得している利点を生かし、劣化モデル

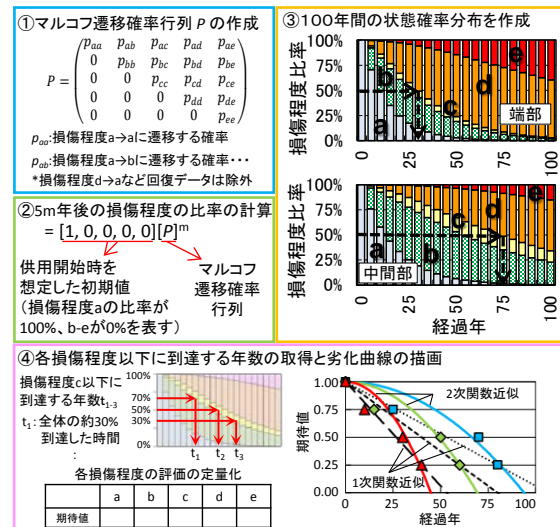


図 1 劣化特性データの作成の流れ(鋼主桁腐食の例)

は、架設環境、構造形式、部材の平面的な位置などの条件を組み合わせた合計 272 通りの条件で求めた。それぞれ、マルコフ遷移確率行列、状態確率分布、劣化曲線を作成し、データ集として取りまとめた。劣化のばらつきは上位・中位・下位の劣化曲線として、状態確率分布を基に期待値および期待値周りのばらつきを求め、数種の関数近似によって表した。(図 1)

2. LCC 推計の課題

一般的に、状態データを利用した LCC の計算は、以下の流れで行われる。

- ①各部材と各損傷種類に劣化特性を仮定
- ②試算条件 i)~vi)の仮定
 - i)評価期間、ii)補修を行う状態、iii)補修を行う範囲
 - iv)補修工法、v) 補修単価、vi) 補修後の部材の状態
- ③各部材の劣化予測と補修判定
- ④補修が必要な場合、部材状態の回復と費用の計上
- ⑤評価期間中、③~④を繰り返し計算

しかし、部材の劣化はばらつきが大きく、損傷種類や損傷部位などにも劣化の特徴が異なる。また、補修を行う状態や補修を行う範囲の与え方については、予め仮定する必要があり、その設定法に正解はない。

そこで、これらのばらつきや仮定の違いが LCC の計算結果に与える影響をモンテカルロシミュレーション(以下、MCS)を用いて調べた。劣化のばらつきは、1.で作成した遷移確率を基に、5年毎に各部材、各要素の損傷程度を確率的に得ることで考慮できる。

補修の判定方法の仮定は、以下の 2 通りを考えた。いずれも定期点検と同じ損傷程度評価 a~e (a は最小の被害、e は最悪の被害を示す)を用いるが、一つ目の仮定は、1つの要素が損傷程度 d または e に達した時に補修を行うと判定する。このとき、その要素を含む部材のみならず径間全体を損傷程度 a に回復させ、補修費用を計上し LCC を算出する。これは、全体的に劣化の進行が早く、ばらつきが小さい特性を有する部材に対して合理的と考えたものである。何故ならば、1つの要素が d に達した時、他の多くの要素も劣化が生じ始めており、次の点検時には、一斉に劣化が拡がっている場合が想定されるためである。

もう一つの仮定は、径間内の損傷程度 d 及び e の発生率が 20%を超えた時に補修を行うと判定する。このとき、損傷程度 d や e の要素のみならず径間全体を損傷程度 a に回復させ、補修費用を計上し LCC を算出する。これは、全体的に劣化の進行が遅く、ばらつきが大きい特性を有する部材に対して合理的と考えたものである。何故ならば、1つの要素が d や e に達した時、他の多くの要素は損傷がないか軽微な損傷状態あり、時間を掛けて劣化が拡がる場合が想定されるためである。

3. 将来の維持管理費用の推計

対象は、1970 年代に架設された単径間単純非合成鋼桁橋(橋長 20.2m、全幅員 10.45m)である。当該橋の点検結果を参考に経過 0 年での部材の損傷状態を設定した。

図 2 に対象橋梁の LCC の MCS 計算結果を示す。各 5 年の LCC の分布から、平均値 μ と標準偏差 σ を算出し、 μ 、 $\mu \pm \sigma$ として表した。 μ は平均的な LCC の推移を示す。図から、劣化のばらつきが縦軸及び横軸方向の計算結果の幅として反映されている。また、補修を行うと判定する状態指標の仮定の違いが計算結果の平均値の違いとして表れている。要素が 1 つでも d や e に達したら補修を行う場合は、累積費用が 60 百万円になるまでに、 μ で約 18 年、 $\mu \pm \sigma$ で約 15~25 年と同水準までの到達年に関がある。30 年時点で必要な補修費用を見ると、 μ で約 80 百万円、 $\mu \pm \sigma$ で約 70~90 百万円と幅がある。また、損傷程度 d 及び e の発生率が 20%に達したら補修を行う場合は、60 百万円になるまでに、 μ では約 30 年、約 25~40 年と同水準までの到達年に関がある。30 年時点で必要な補修費用を見ると μ では約 60 百万円、 $\mu \pm \sigma$ では約 50~70 百万円と幅がある。

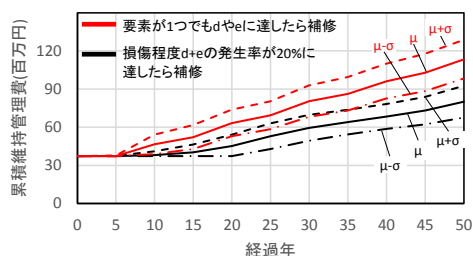


図 2 異なる補修判定を用いた LCC 推計結果の比較

4. まとめ

一般的な桁橋 1 橋について、劣化のばらつきを考慮し、かつ、補修を行う状態指標を 2 つ仮定して LCC の計算を行い、結果を比較した。その結果、劣化のばらつきも補修を行うと判定する状態指標の仮定も LCC の計算結果に影響を及ぼすこと、そして、計算値はばらつくため確定的には扱うことはできないことを確認した。

したがって、計画の策定にあたっては、LCC 計算結果がばらつくことを認識して慎重に取り扱う必要がある。また、LCC 計算時の補修の判定方法に用いる状態指標や補修範囲などの仮定方法には正解はなく、実際の補修時には、それらの仮定を工学的判断として用いることはできない。そのため、LCC の計算結果の通りに計画を実施することができないことにも注意を払うべきである。

今後は、各管理者に共有するため LCC 計算や計算結果の取り扱いなどの留意事項をまとめる必要がある。

[成果の発表] 国総研資料及び各種論文等で発表予定。

[成果の活用] 長寿命化計画策定に関する参考資料に反映。

道路橋の補修・補強設計法に関する調査検討

Study on Design Standards for Repair and Reinforcement Works of Highway Bridges

(研究期間 平成 28～31 年度)

道路構造物研究部 橋梁研究室

室 長 星隈 順一
主任研究官 加藤 豊
交流研究員 松村 裕樹
交流研究員 中邨 亮太

主任研究官 白戸 真大
研 究 官 宮原 史
交流研究員 正木 守

[研究目的及び経緯]

我が国の道路橋は高齢化の進展に伴い様々な劣化や損傷の事例が報告されており、既設の道路橋に対する補修補強の必要性は今後も増加が見込まれる。一方、補修補強設計には技術基準が無く、様々な技術図書を参考に行われる。これらの技術図書に示される内容はまちまちであり、補修補強設計の成立性は必ずしも明らかでない場合もあると考えられる。

本年度は、コンクリート部材の補修補強設計法に対する要求事項を整理し、コンクリート部材一般に共通する要求事項、工種毎の要求事項、補修補強原理毎の要求事項の3層から成る階層構造に体系化した。また、既存の技術図書を収集し、体系化した要求事項の記載の有無を整理し、全ての要求事項が記載された既存の技術図書は無いことを確認した。

補修補強設計に係わる部分係数に関する調査検討

Study on partial factor design for existing bridges

(研究期間 平成 27～29 年度)

道路構造物研究部 橋梁研究室

室 長 星隈 順一
研 究 官 宮原 史
交流研究員 窪田 真之
交流研究員 中邨 亮太

主任研究官 白戸 真大
研 究 官 河野 晴彦
交流研究員 正木 守

[研究目的及び経緯]

国土技術政策総合研究所では、信頼性設計の考え方を基礎とし、国際的技術基準の標準書式でもある部分係数設計体系への転換を視野に、道路橋の技術基準の見直しに必要な検討を進めてきた。これまでに、主要部材の組合せ断面力100年最大値分布（極値分布）を求めるシミュレーションを多様な道路橋に対して行い、荷重組合せ、および荷重組合せごとの荷重係数を提案している。

既設橋の補修補強設計においては、新設橋の設計に用いる荷重係数をそのまま用いるのではなく、補修補強設計において想定する供用期間や架橋地点の交通特性に応じて荷重極値分布を評価し直すことでより合理的な設計を行える可能性あり、本研究では、補修補強設計に適用する部分係数を提案することが目的である。

今年度は、幅広い橋梁形式に対応できるよう選定した8橋に対して供用期間を変動させたシミュレーションを行い、橋梁の供用年数に応じた荷重係数の設定ができる可能性を検討した。

道路構造物の健全性把握に関する調査検討

Study on soundness grasp of road structures

道路構造物研究部 橋梁研究室

(研究期間 平成 27～29 年度)

室 長	星 限 順一
主任研究官	白 戸 真大
研 究 官	河 野 晴彦
交流研究員	松 村 裕樹

[研究目的及び経緯]

高度経済成長期に集中的に整備された道路構造物を将来にわたり効率的に維持管理していくことが求められており、平成 26 年 7 月から、トンネル等の道路構造物について 5 年に 1 回の法定点検が行われている。

本研究は、道路構造物を効率的に維持管理していくために点検結果を分析し、点検要領の改定並びに資産管理への反映方法について検討するものである。

平成 28 年度は、横断歩道橋の平成 26、27 年度定期点検結果を用いて、損傷程度の進行を遷移確率により推定し、劣化予測式を作成した。

道路構造物の健全性把握に関する調査検討

Survey study on soundness grasp of road structures

道路構造物研究部 構造・基礎研究室

(研究期間 平成 27～29 年度)

室 長	間 渕 利明
主任研究官	西 田 秀明
主任研究官	阿 部 稔
研 究 官	西 藤 淳

[研究目的及び経緯]

本研究は、定期点検の信頼性向上及び効率化を図るため、劣化特性の支配的要因の抽出や点検結果のばらつき、調書の品質等の調査を行い、点検や診断の実態調査を踏まえた劣化特性の分析と点検要領等の改善の検討を行うことを目的としている。

本年度は、平成 26、27 年度の定期点検結果よりシェッド及び大型カルバートについて、構造物の構造特性や設置環境特性から変状の発生傾向を整理した。シェッドでは健全性Ⅲが約 5 割を占め、PC 構造や鋼構造で変状が多く、特に PC 構造は塩害地域の谷側構造で損傷が顕著であった。また、カルバートでは健全性Ⅲが約 1 割であり、変状の種類の中ではひび割れが多く、ひび割れの発生部位としては頂版が多いということが明らかとなった。

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 retailing 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の対応について解析による検討を行った。

[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

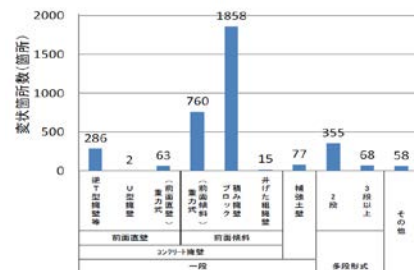


図-1 擁壁のタイプ別変状箇所数 (H27 直轄)

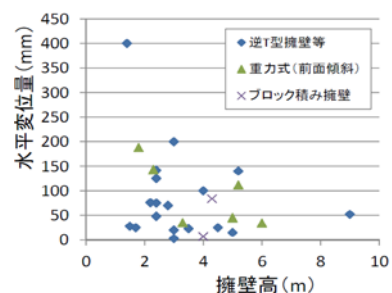


図-2 擁壁の傾斜に伴う天端の水平変位量の分布

れている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。

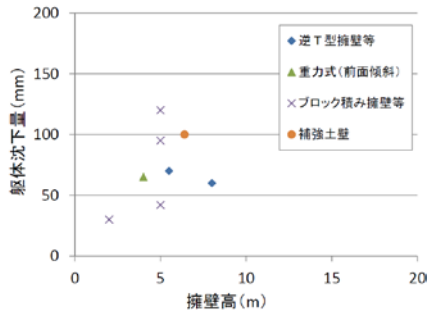


図-3 擁壁躯体の沈下による天端変位量

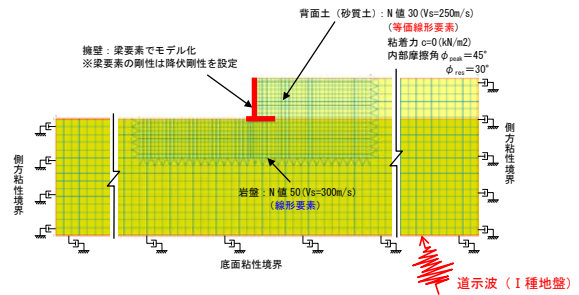


図-4 擁壁の地震時の挙動に関する解析

表-2 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 (8mm) 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ります。

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出来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の路線であれば、レベル2地震動に対して性能3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地震動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5~10m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-2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。

3. シェッドの耐震性検討

RC箱型ロックシェッドの耐震性について、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のロックシェッドでは、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。

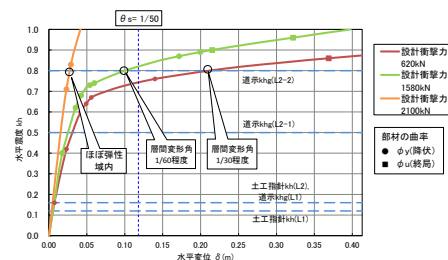


図-5 落石による設計衝撃力の違いによるRC箱型ロックシェッドの水平震度と水平変位の関係の比較

[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

道路構造物管理部 構造・基礎研究室

(研究期間 平成 27～29 年度)

室 長	間 渕 利 明
主任研究官	高 木 繁
研 究 官	上 原 勇 気

[研究目的及び経緯]

本研究では、道路トンネルの点検方法の効率化や簡素化、山岳トンネル以外のトンネル点検のあり方の具体化並びに新設道路トンネル覆工設計の性能を評価した設計基準の策定、道路トンネルの変状に対する補修・補強対策の選定方法や設計手法の策定することを目的に調査、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、坑口部以外の低土被り部等において、坑口部支保パターンが適用されている道路トンネルについて、その覆工が支持できる土被り荷重を検討した。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。

既設土中構造物等の補修・補強基準に関する調査検討

Survey study on repair and reinforcement criteria for existing underground structures

(研究期間 平成 26～28 年度)

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

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
研究官
Researcher

間渕 利明
Toshiaki MABUCHI
阿部 稔
Minoru ABE
西藤 淳
Jun NISHIFUJI

This research aims to propose the repair and reinforcement criteria for existing damaged underground structures (culvert, shed, etc.) to be used for long term. In FY 2016, the contents of repair methods and the situation of the re-deterioration for damaged structural members of culverts and sheds were analyzed, and it was shown the point to keep in mind in the repair design of underground structures.

〔研究目的及び経緯〕

本研究は、既設土中構造物等の総点検等の点検結果及び被災経験等を踏まえ、重大事故に至る可能性のある損傷形態を対象に、損傷状況及び補強効果の調査分析を行い、補修・補強要領の提案のための課題を明らかにすることを目的としている。

本年度は、平成 27 年度の定期点検を行った大型カルバート及びシェットのうち、過年度に補修補強履歴がある部材を対象に、補修補強内容や、補修補強後の部材の変状等の状態とその要因について整理・分析した。

〔研究内容及び成果〕

1. カルバートの補修補強の内容と再劣化状況

カルバートの定期点検結果より、補修・補強(以下、補修等)履歴がある 83 施設を対象にその内容を整理した。具体的には、定期点検調査書において 1) 補修履歴の欄に記載がある、2) 所見やメモ欄に「補修跡」「再劣化」のコメントがある、3) 損傷状況写真から補修跡がある、ものを対象として抽出した。補修・補強内容が実施された部材・部位とその工法の内訳を図-1 に示す。なお、1 つの施設で複数工法実施されている場合は全て計上している。補修等はその多くが側壁及び頂版を対象としており、その大半は断面修復工、表面保護工、ひびわれ注入工であった。

平成 27 年度定期点検で確認された補修等が行われた部材のうち変状が生じているものについて、その内容を図-2 に示す。ここで、変状が生じているもののみを示しているのは、補修等を行った後に変状が生じていない場合は記録されていないものがあるためである。

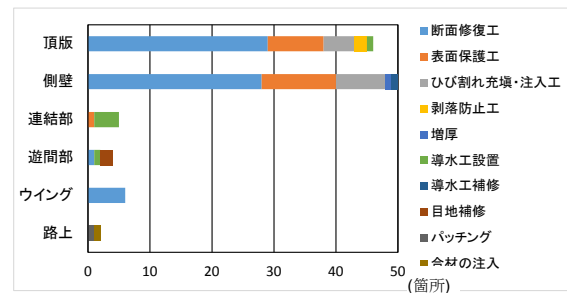


図-1 補修補強した部材と工法内訳 (カルバート)

また、1 施設で複数の補修等を行っている場合は補修内容毎にそれぞれ計上している。変状の種類としては、補修・補強材の変状、うき、ひびわれ、漏水・遊離石灰が多く発生していた。このうち補修等の実績が多い工法に着目すると、断面修復工を行った部材についてはうき及び補修・補強材の変状が、表面保護工を行った部材については、補修・補強材の変状がそれぞれ多い。再劣化の例を図-3 に示す。事例 (a) では、断面修復が行われた箇所ですきが発生している。また、事例 (b) では表面保護工が行われた後に、保護工を行っていない範囲から連続する鉛直ひびわれが生じている。このような損傷は補修部周辺の変状があ

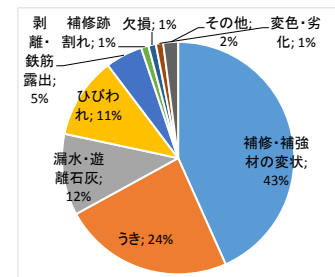


図-2 補修補強部材に確認された変状種類 (カルバート)



(a) 断面修復工 (b) 表面保護工
図-3 補修箇所の再劣化の例(カルバート)

る箇所(図-3の場合はひび割れ)や断面端部(目地部、出入口付近)で生じているものが多い傾向がみられる。

2. シェッドの補修補強の内容と再劣化状況

カルバートと同様に、定期点検結果より補修等の履歴がある39施設を対象にその内容を整理した。その結果、補修等の多くは山側・谷側柱及び頂版(頂版上も含む)で実施されており、工法としては、断面補修工、ひびわれ注入工、表面保護工及び防水工が多い(図-4)。

補修補強を行った部材の変状は、うき及び補修・補強材の変状が多く発生していた(図-5)。断面修復工を実施した部材ではうき及び補修・補強材の変状、表面保護工を実施した部材は補修・補強材の変状がそれぞれ多く、これらはカルバートと同様の傾向であった(図-6)。

補修補強を行った施設のうち、海岸部及び海岸から100mまでの位置にある施設が約半数の21施設ある(他の18施設は海岸線から1km以上に立地)が、海岸からの距離で補修等を行った部材の変状程度の評価を比較すると、海岸から遠い位置に設置されたものより近いものの方が変状程度の大きい箇所数が多い(図-7)。

3. 既設土中構造物の補修補強における留意点の整理

定期点検結果から見られるカルバート及びシェッドの補修・補強内容とその後の変状状況から、断面修復やひび割れ注入などの断面形状を元に戻す対策が多くを占めること、これ以外の対策を行った場合も含め再劣化している事例が少なくないことが明らかとなった。

この理由としては、1)当該変状が生じた要因の推測が適切でない、または、十分に行われていないこと、2)変状要因の除去や必要な耐荷力・耐久性の確保ができる対策が選定されていないこと、3)補修補強の施工が適切に行われていないこと等が考えられる。このうち、1)については、変状が生じた箇所やその周辺の変状の状況、土圧や上部道路の活荷重などによる発生応力の変化や、継続的な水の供給の有無など当該変状を生じた要因を適切に推定する必要がある。これを踏まえて、要因に応じて補修等の効果が十分に発揮適切

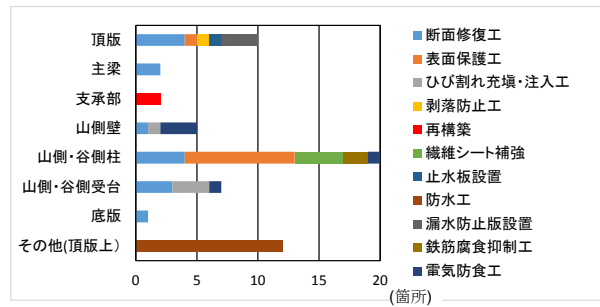


図-4 補修補強した部材と工法内訳(シェッド)

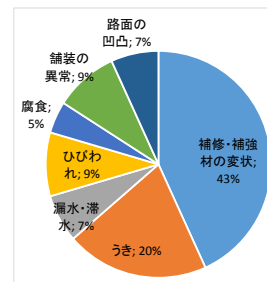


図-5 補修補強部材に確認された変状種類(シェッド)

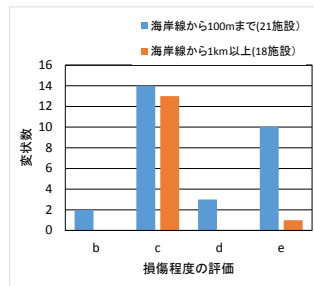


図-7 海岸からの距離別の変状程度割合



(a) 断面修復工(谷側柱)



(b) 止水板

図-6 補修箇所の再劣化の例(シェッド)

な対策を選定する必要がある。しかし、カルバートやシェッドの山側壁のように背面に容易には除去ができない土砂がある場合、補修は一般的に内空側からしか行えないため、例えばカルバート外部からの水の浸入が変状要因と推定できても、外部に防水対策を施せず結果的に再劣化につながっていることも考えられる。したがって、既設土中構造物の補修等に際しては、構造物本体だけで行える対策に限界があることを前提に、土かぶり部や裏込め部の表層からの水の供給を減らす排水対策など構造物本体以外の対策との併用や、定期的な交換・更新を前提とした補修材料の選定や取付け方の検討等についても考慮する必要がある。

[今後の課題]

荷重や気象などの外的条件、構造条件、補修補強の内容の詳細や再劣化までの経過変化等について、更なる分析を進め、合理的な補修補強基準の提示を目指す。

[成果の活用]

補修補強設計・施工基準原案への反映を目指す。

無電柱化推進に資する施工手法に関する調査検討

Survey study on construction techniques that contribute to the promotion utility poles removal
(研究期間 平成 27~28 年度)

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

道路基盤研究室
Pavement and Earthworks Division

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
研究官
Researcher

室長
Head

間渕 利明
Toshiaki MABUCHI
西田 秀明
Hideaki NISHIDA
西藤 淳
Jun NISHIFUJI
久保 和幸
Kazuyuki KUBO

In order to make clear the problems when cables covered by sand are placed inside pavement at shallower level than the conventional case, cyclic loading tests were carried out. These results showed that wheel load propagation depended on the buried electric cable setting direction, especially.

[研究目的及び経緯]

電線類の地中化等による無電柱化は、道路の防災性の向上、安全で快適な通行空間の確保、良好な景観の形成や観光振興等の観点から望まれている。しかし、事業コストが高いこと等により我が国の無電柱化率は最も進んでいる都市でも7%程度と低い状態である。

本研究では、このような背景を踏まえ、施工コストの低減の可能性がある技術としてケーブル等の埋設深さの浅層化や直接埋設等を行う場合を対象に舗装機能に影響を与えない施工手法の検討を目的としている。

本年度は、ケーブル等を浅層埋設する際におけるケーブル保護層の条件が道路機能に及ぼす影響に関する実験及び解析的検討を行った。

[研究内容及び成果]

1. ケーブル等を浅層埋設する際におけるケーブル保護層の条件に関する载荷実験

(1) 実験方法

① 実験模型と実験ケース

実験模型は、直径1m、深さ1mの筒状の舗装体内にケーブル保護層を構築したものである。舗装構成は、表層(アスファルト層)5cm、上層路盤(M-30)20cmとし、その下に下層路盤(C-40)75cmとした。この中に、上層路盤上面から下方10cmにケーブル上面が来るように配置し、そのまわりに砂巻によるケーブル保護層を設置した。このケーブル深さは、「電線等の埋設に関する設置基準」(以下、「通達」)での埋設深さの考え方に準拠して設定したものである。保護層厚はケーブル径が大きいものに対して、ケーブル表面から5cmと10cmのケースとした。ケ

ーブルはCVケーブル(架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル、断面積250mm²)と、これが4本より線になっているCVQケーブルを用いた。これらを組合せて行った実験ケースを表-1に示す。

表-1 実験ケース

ケース	条件
1	砂巻10cm, ケーブル径大 (CVQ)
2	砂巻11.5cm, ケーブル径小 (CV)
3	砂巻5cm, ケーブル径大 (CVQ)
4	ケース1からケーブルを除いたもの
5	砂層なし

② 载荷方法と計測項目

実験は、表層中心位置を直径30cmの载荷版で繰返し载荷して行った。繰返し载荷条件は载荷荷重49kN、累積回数10万回で、頻度2Hzで行った。なお、载荷回数の条件は過年度舗装走行実験施設にて実施したケーブル等を埋設した舗装における車両走行実験における条件(49kN換算で10万輪相当の载荷)に合わせたものである¹⁾。土圧の測定位置は図-1のとおりであり、路面から60cm下で、平面位置では、载荷版直下(土圧計1)、载荷版中心からケーブル配置方向(同2)及びその直角方向(同3)にそれぞれ25cmずれた

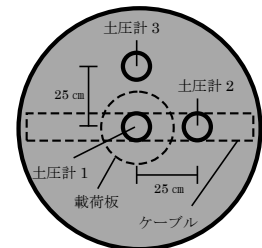


図-1 土圧計平面図

位置に配置した。途中1万、3万、5万、7万回載荷時点での舗装状態を確認するとともに、累積載荷による影響を確認するため加振再開時及び10万回載荷後において土圧を約40秒間計測した。なお、各載荷段階における土圧は、土圧がほぼ一定となった段階から、1回載荷するごとに発生する最大土圧を10回分求め、この平均値とした。

③実験結果

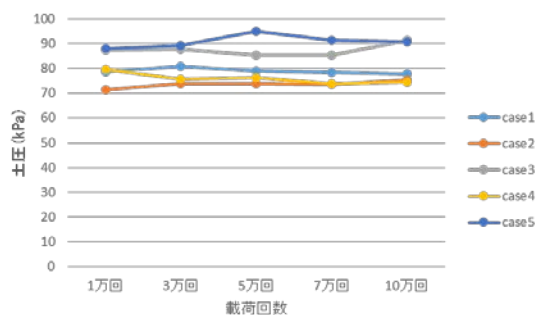
砂層がないケース5での土圧は、載荷点直下の土圧計1に対して、等距離に離れた2つの土圧計2、3では概ね同程度(土圧計1の5~6割)が生じている。これを基準として他のケースを見た場合を以下に示す。

もっとも砂巻の範囲が小さいケース3での土圧は、土圧計1はケース5と同程度であるが、ケーブル直下に配置した土圧計2で土圧計1の9割が生じているのに対し土圧計3では5割程度である。これに比べて砂巻範囲が大きいケース1の土圧は、土圧計1でケース5よりやや小さいが、土圧計2が土圧計3より大きい傾向はケース3の場合と同様である。この傾向は、ケース1に対してケーブル径を小さくしたケース2でも見られるが、土圧計1~土圧計3の発生土圧はケース1に比べて小さくなっていること、また、土圧計1に対する土圧計2の割合がケース1では約9割に対して7割強程度と小さい。さらに、砂層のみでケーブルが入っていないケース4の土圧は、土圧計1ではケース2と同程度であるが、土圧計2、3ともに発生土圧が全5ケースの中で最も小さくなっている。

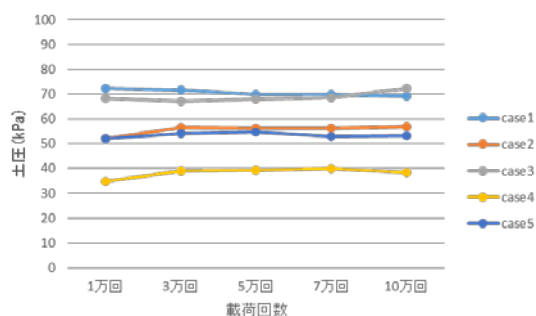
これらより、載荷中心位置における土圧は、ケーブル埋設深が同じであれば、砂巻厚さが5cm程度なら砂層やケーブルがない場合(ケース5)と同等であるが、10cmとなると土圧が低減されること、さらに、ケーブルがある方向にはこれがない方向に比べて大きな土圧が伝達され、この傾向はケーブルの径が大きいほど顕著であることが明らかとなった。

ただし、今回の実験では、全ての実験ケースにおいて10万回載荷終了後までの範囲における土圧の生じ方の変化の傾向は特に見られなかった。また、10万回終了後において舗装面にひび割れ等の変状は生じていなかった。さらに、今回の実験では集中荷重を同一箇所を繰り返し載荷しており、実際の道路における車両走行での載荷状態とは同じではない。

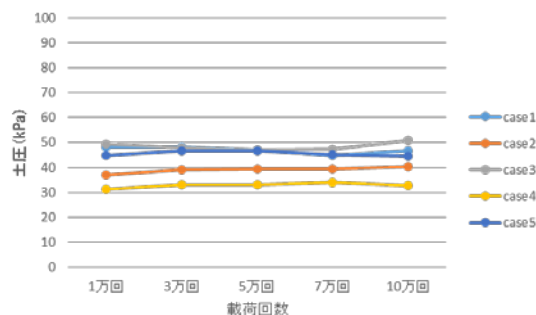
したがって、今回の実験をもとに、車両走行に伴う輪荷重がどの程度作用したときに舗装に損傷が生じるかを推定することまではできないが、少なくとも今回と同程度の載荷状況なら直ちに舗装が損傷す



(1)土圧計1



(2)土圧計2



(3)土圧計3

図-2 土圧計測結果の変化

ることではない。しかしながら、舗装内に不均一な応力が生じており、ケーブル設置方向に大きな荷重(土圧)が作用する頻度が高くなることから、長期的に見た場合、この方向に変状が生じると想定されること、また、砂巻厚さだけでなく内部のケーブルにも依存し、今回使用したケーブルでは、ケーブル径が大きいほどその影響は大きい可能性が高いことを示唆していると考えられる。

よって、舗装体内へのケーブルの直接埋設が舗装へ与える影響を検討する際には、砂巻厚さだけでなくケーブル径や剛性も合わせて考慮する必要がある。

[成果の活用]

電線等の埋設に関する通達や施工要領等に反映させる。

参考1) 無電柱化低コスト手法技術検討委員会：無電柱化低コスト手法の技術検討に関する中間取りまとめ,2015.12

舗装の管理状態評価に関する調査検討

Research on management state evaluation of pavement

(研究期間 平成 26～28 年度)

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

室長	久保 和幸
Head	Kazuyuki KUBO
主任研究官	谷口 聡
Senior Researcher	Satoshi TANIGUCHI
研究官	船越 義臣
Researcher	Yoshiomi FUNAKOSHI

This research consider about long life technique of pavement and rational state evaluation method according to each type of characteristic of pavement.

In this study, the authors analyzed the features and degradation cause of early deterioration section of asphalt pavement based on the results of state investigation of the road surface. And the authors conducted structural survey of pavement in the actual road.

As a result, the authors found that the early deterioration of the pavement occurs in particularly cold areas. In addition, about 60% of the early deterioration section did not have the necessary performance, which is shown in the technical standards. The authors found that the early deterioration section has occurred reduction in rigidity and the outflow of the fine fraction of the roadbed and the roadbed, from the structural survey of pavement.

[研究目的及び経緯]

2014 年 4 月の社会資本整備審議会道路分科会建議「道路の老朽化対策の本格実施に関する提言」においては、「舗装、照明柱等構造が比較的単純なものは、経年的な劣化に基づき適切な更新年数を設定し、点検・更新することを検討」とされた。また、2016 年 10 月には舗装の点検に関する基本的な事項を記した「舗装点検要領」が公表されている。これに伴い舗装の維持管理においては、舗装の「更新年数」を意識した維持管理を行うとともに、舗装の長寿命化による長期的なコスト削減を図ることが求められている。

これらを踏まえ、本研究は、各種舗装の特性等に応じた合理的な状態評価方法及び舗装の長寿命化手法について検討するものである。

[研究内容]

1. 舗装に関する各種調査の整理

国土交通省が実施した舗装関連の各種調査について、早期劣化区間の抽出、及び延命効果の整理に活用するため、過年度の調査結果を整理した。

2. 早期劣化区間の構造調査

劣化区間と健全区間の舗装各層の材料試験や現地調査を行い、劣化区間と健全区間の構造状態を比較・分析した。

3. 予防的舗装修繕工法の延命効果の整理

1. で整理したデータ及び気象情報等を活用して、主要な予防的舗装修繕工法であるクラックシールの延命効果を算出し整理した。

[研究成果]

1. 舗装に関する各種調査の整理

舗装関連の各種調査結果を、分析等しやすいよう同一のファイルにデータ化した。データ整理は個別・箇所別で行い、設計条件や劣化環境等の「特性」が類似するものはグループ化して整理、複数の劣化要因を組み合わせた。また、経過年、累積 49kN 換算輪数、その他（温度、降水量等）の影響を確認するため、データをグラフ化し、傾向を確認した。

一例として、図-1 に「初期のたわみ量 D_0 」と「破壊までの累積 49kN 換算輪数 N 」との関係を示すが、これによると初期のたわみ量から疲労破壊輪数を超過している箇所におけるひび割れ率の大半は 20%未満であり、全体における累積 49kN 換算輪数と路面性状（ひび割れ率）との関係を踏まえると、舗装性能評価法（日本道路協会）に定義される「たわみ量 D_0 から疲労破壊輪数を算出する推定式、及びそのグラフ」は概ね妥当であると考察される。

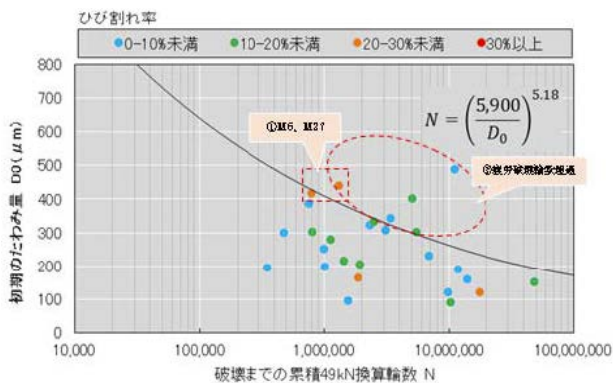


図-1 傾向確認の例

(たわみ量 D_0 と累積 49kN 換算輪数との関係)

2. 舗装の早期劣化区間の構造調査

構造調査は、早期劣化区間（経年数 10 年未満でひび割れ率 40% 以上またはわだち掘れ量 40mm 以上）及び比較用の健全区間（早期劣化区間と同じ経年数かつ近接しており路面性状が健全）について、栃木県内の国道 4 号バイパス上においてボーリングコアにて試料採取したものを各種試験することにより実施した。試験内容を表-1 に示す。

表-1 試験内容

材料	調査項目	試験方法	単位	数量	備考
舗装体	支持力	FWDによるたわみ量測定方法(S047)	箇所	10	
As層	クラック状況	目視観察	個	4	φ20cm コア
	舗装の厚さ	舗装の厚さの測定方法(G006)	個	4	目視観察用コア
	密度	密粒度アスファルト混合物等の密度試験方法(B008-1)	個	24	φ10cm コア
	圧裂強度	圧裂試験方法(B006)	個	24	密度試験後コア
路盤	厚さ		個	4	φ15cm ボーリング
	骨材粒度	骨材のふるい分け試験方法(A003)	個	8	上層路盤、下層路盤

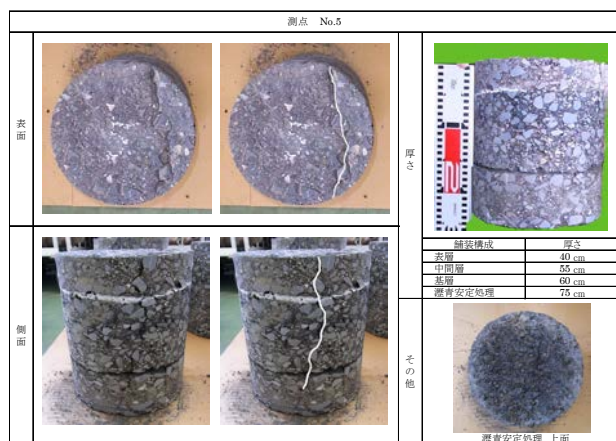


図-2 構造調査の例（劣化部における目視観察）

調査代表例として図-2 に、目視点検結果を示す。これによると、ひび割れは舗装上面から瀝青安定処理の

途中にまで達しており、基層と瀝青安定処理は界面で剥離していた。路面ひび割れから水が浸入したこと、及び繰り返しの加重を受けたことにより劣化が早期に進行したものと考えられるが、これについては今後、同じ調査箇所において開削調査を実施し、詳細に原因等を探究していく予定である。

3. 予防的舗装修繕工法の延命効果の整理

1. で実施した舗装関連の各種調査結果をもとに、クラックシールの適用箇所と非適用箇所におけるひび割れ率及びわだち掘れ量の変位量から進行速度を推定し、比較することで延命効果を求め、評価した。

結果の例として、予防的舗装修繕工法をを施した区間と施していない区間において、ひび割れとわだち掘れの進行度から、予防的舗装修繕工法を施す水準（対策水準：ひび割れ率 40%、わだち掘れ量 40mm）に至る年数（期間）を求めたものを表-2 に示す。これによると、予防的舗装修繕工法を施した方が未対策に比べて対策水準までの年数が延びており、予防的舗装修繕工法を適用することによる明らかな延命効果が確認された。また、ひび割れについては、交通区分が高いほど対策水準までの年数が長く、逆にわだち掘れについては、交通区分が低いほど対策水準までの年数が長いという傾向も見受けられた。

表-2 延命効果推定の例

	平均ひび割れ進行度(%/年)	平均わだち掘れ進行度(mm/年)	対策水準(ひび割れ率 40%)までの年数	対策水準(わだち掘れ 40mm)までの年数
N7 対策適用区間	1.2	1.0	8.2	9.7
N7 対策非適用区間	1.7	1.3	6.0	7.4
N6 対策適用区間	2.9	—	3.5	—
N6 対策非適用区間	4.1	—	2.4	—
N5 対策適用区間	3.4	0.7	3.0	13.7
N5 対策非適用区間	4.9	0.7	2.1	13.6

【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。

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

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

(研究期間 平成 26 年度～28 年度)

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

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
研究官
Researcher

久保 和幸
Kazuyuki Kubo
谷川 征嗣
Masatsugu Tanigawa
榎本 忠夫
Tadao Enomoto

The objective of this study is to establish the rational inspection method for earth structures in terms of the disaster management. In the third fiscal year, some important inspection points were summarized based on the qualitative case studies of the earth structures with rain-induced damage. Furthermore, to predict the geo-disaster risk of earth structures, actually observed precipitation data led to rain-induced failure in the past were analyzed. As a result, it may be seen that the precipitation parameter taking into account the water content of ground tended to be effective in predicting the disaster risk of earth structures.

[研究目的及び経緯]

これまでに建設された道路施設が今後急速に高齢化しつつあるが、道路土工構造物は老朽化よりも大雨等の災害によって損傷することが多いため、道路ネットワーク機能とリスク管理の観点から維持管理手法の構築が必要である。このため、道路土工構造物の点検結果や維持管理実態、災害発生要因等の調査を行い、リスク低減の観点から合理的な維持管理手法を検討するものである。

今年度は、既往の防災カルテ点検結果等から危険性の高い変状・損傷及び箇所について、日常の巡回における着目点及び対応等の留意事項を整理した。また、異常気象時通行規制で用いている連続雨量のほかにも他分野での手法により、災害発生と雨量指標との関係について分析・整理した。

[研究内容及び研究成果]

1. 道路のり面・斜面の点検の留意事項の整理

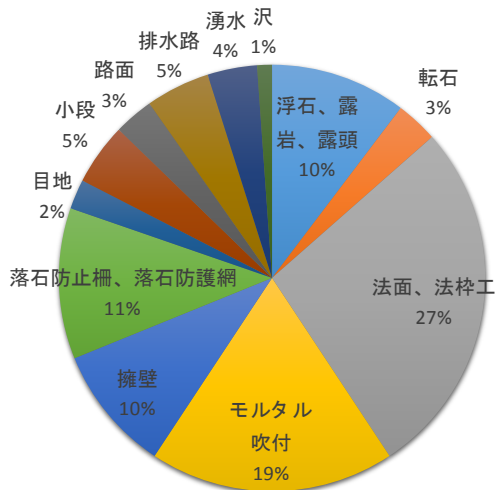
直轄国道の「落石・崩壊」及び「盛土」の防災カルテ点検結果から以前より評価がランクアップした箇所や変状着目点に進行が認められる 220 事例を抽出し、図 1 に示すように防災カルテに記載されている着目すべき点や点検項目から着目すべき変状、災害に至る危険性が高い変状の分析・整理を行い、巡回時の留意事項等を取りまとめた。



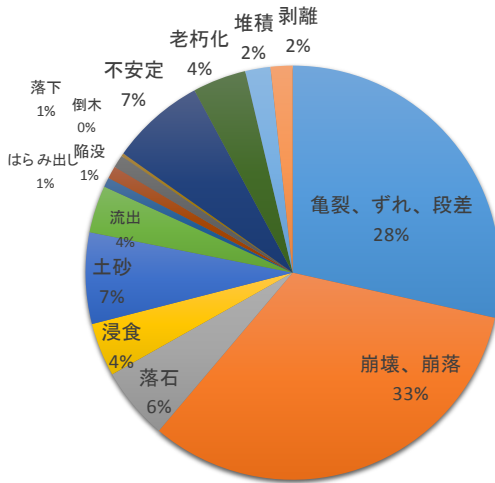
図 1 防災カルテに記載されている着目点 (例)

抽出した事例を対象に、「施設・構造物・自然対象物」と「変状・現象」に分類し、施設・対象物の着目点のキーワードで分析した。図 2 に山側施設が対象となる

「落石」「切土のり面崩壊」「自然斜面崩壊」の166事例における着目点の割合を示す。施設等では法面・法枠工が27%、次いでモルタル吹付が19%、落石防護柵・落石防護網が11%と多く、法面保護工や落石対策工が約70%を占めている。同様に着目している変状等では崩壊・崩落が33%、亀裂・ずれ・段差が28%と多い。



(施設・構造物・自然対象物)



(変状・現象)

図2 山側施設における着目点の割合

一方、谷側施設となる「盛土」の54事例における着目点の割合は、施設等では路面、法面・盛土が51%、擁壁が16%と多く、変状等では亀裂が64%と多くなっており、主に路面や路面に近い第1段目法面における崩壊・崩落、亀裂・ずれ・段差を点検の着目点としていることが判明した

また、災害が発生する危険性の高い変状・損傷および箇所としては、例えば、山側施設のモルタル吹付法面では、水平方向の開口亀裂、モルタルの剥離・小崩

壊の発生が崩壊に至る危険性の高い変状・損傷例としてあげられ、谷側施設では路面の亀裂、路肩の沈下があげられる。

上記の結果から日常の巡回（通常巡回および定期巡回）における着目点について、切土のり面、自然斜面および斜面安定工の山側施設、盛土の谷側施設に区分して整理した。また、災害発生の前兆現象を捉える観点から巡回時に車上または路上から目視確認できると推定される着目点を選定し、巡回時の留意事項等を整理した。

切土のり面及び自然斜面では、カルテ点検で特に着目されていた路面や最下段のり面または擁壁、第2のり面において次の事項に留意する必要がある(図3)。

- ・法枠や枠内に亀裂の発生、枠内モルタル吹付等の崩落
- ・法面からの湧水の増加
- ・擁壁目地のズレ、擁壁面の転倒、水平亀裂の発生
- ・法尻部路面の隆起、側溝の閉塞
- ・複数の立木の倒木状況

また、留意事項に対して異状・変状が見られた場合には次の対応が考えられる。

- ・法枠や枠内の亀裂の拡大が累積していないか、変状の見られたのり面・斜面の上方や周辺含めて点検確認
- ・土砂の吸出しや亀裂やはらみ出しなどの法面・斜面の変状を点検確認
- ・擁壁の傾斜が累積していないか点検確認
- ・法尻路面周辺の変状が累積していないか点検確認
- ・倒木が路上へ影響するか点検

なお、成育中の立木が、複数本傾倒するような現象が確認された場合、斜面崩壊等の可能性もあるため、倒木周辺の斜面状況や構造物の状況等を確認する必要がある。



図3 山側施設の巡回時の留意事項

同様に、斜面安定工について、落石には既往の発生地点での反復性があるため、過去に発生した落石箇所

において次の事項に留意する必要がある。

- ・ 落石防護柵工および落石防護網工の背面に堆積した土石・岩塊（落石）等の増加状況
 - ・ 法尻や路面に認められる（小）落石の状況
- また、留意事項に対して異状・変状が見られた場合には次の対応が考えられる。

- ・ 落石防護施設の損傷を点検確認
- ・ 落石発生源の変状を点検確認

一方、谷側施設では、カルテ点検で最も多く着目されていた路面（車道・歩道）、路肩及び路肩と連続する第1のり面、横断排水施設において次の事項に留意する必要がある（図4）。

- ・ 路面に発生している馬蹄形状または並行の亀裂及び段差
- ・ オーバーレイ等補修箇所での新たな亀裂等の発生
- ・ 山岳部沢地形の盛土内横断管呑み口の土砂堆積状況

また、留意事項に対して異状・変状が見られた場合には次の対応が考えられる。

- ・ 盛土のり面の湧水や崩壊などの変状を点検
- ・ 擁壁と盛土の沈下の拡大を点検
- ・ 縁石、路面の横方向に生じた亀裂や段差、歩道部の段差の拡大を点検
- ・ 土砂撤去と排水施設の損傷を点検

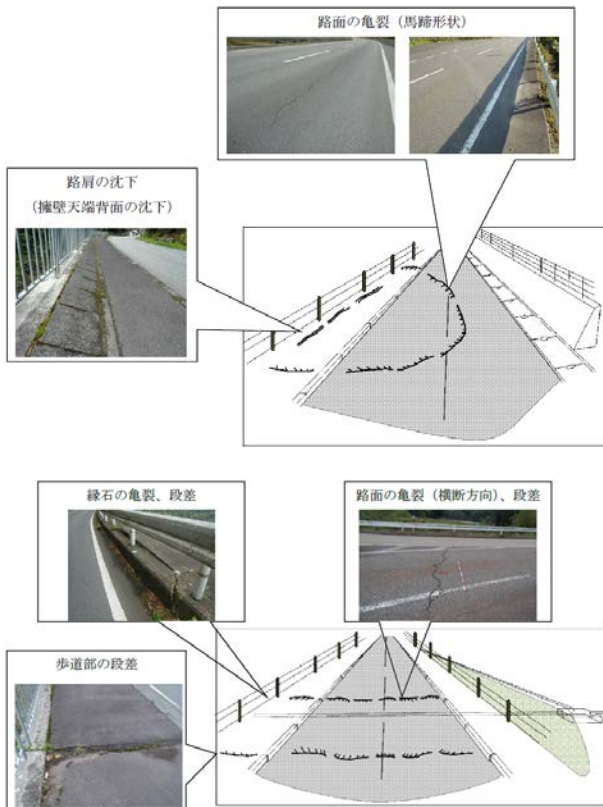


図4 谷側施設の巡回時の留意事項

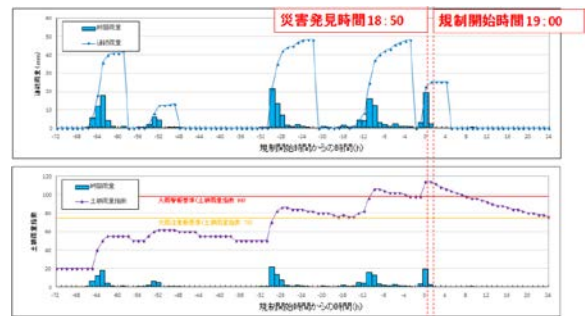
なお、路面の亀裂については、盛土の変形ではなく、舗装の損傷・劣化によって発生している場合があるため、亀裂の発生方向、連続性など、盛土構造との関係を考慮して判断する必要がある。

2. 降雨状況による災害危険性の分析・整理

直轄国道の異常気象時通行規制では連続雨量を用いているが、通行規制区間以外でも災害は発生することから、平成20～23年度に発生した直轄国道の災害のうち50事例を対象として、災害発生時の降雨状況を気象庁のレーダー解析雨量及び土壌雨量指数を用いて、事例ごとに次に示す雨量指標を整理し、降雨特性の分析、降雨パターンの分類を行い、災害発生と降雨状況との関係を整理した。

- ① 時間雨量
- ② 連続雨量
- ③ 土壌雨量指数
- ④ 実効雨量（半減期1.5時間、24時間、72時間）
- ⑤ 連続雨量及び連続雨量と時間雨量の組み合わせ雨量の併用法による雨量基準
- ⑥ 「国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定方法（案）」の指標及び基準

分析の結果、図5に示す断続的な降雨の事例では災害発生危険性の把握に連続雨量よりも土壌雨量指数のほうが有効であることが確認された。



【考察】

- ✓ 断続的な降雨であり、降雨の終盤に災害が発生
- ✓ 降雨期間中に数回の無降雨時間帯があったため、連続雨量はリセット
- ✓ 災害発生時の連続雨量は30mm未滿
- ✓ 一方、土壌雨量指数は気象庁の大雨警報基準値を超えてピークとなり、災害発生の危険性を示唆

図5 断続的な降雨の事例

また、災害非発生時も含め1988年4月以降の各事例位置に対応する雨量データから図6に示すように各災

害発生降雨の時間雨量最大値及び土壌雨量指数最大値の履歴順位を整理した結果では、表1に示すとおり50事例のうち約5割の24事例の災害は時間雨量最大値の履歴順位が5位以内、約8割の41事例の災害は土壌雨量指数最大値の履歴順位が5位以内となっており、土壌雨量指数が災害発生危険性の把握に有効な指標であることを示唆していることがわかった。

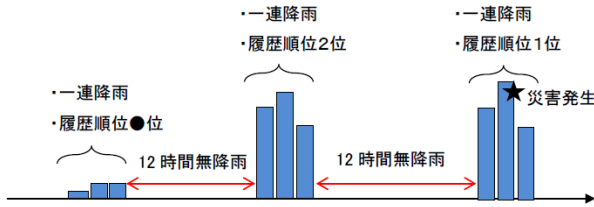


図6 履歴順位の整理イメージ

表1 履歴順位5位以上の降雨数(全50事例)

	履歴順位5位以上の降雨	
	最大時間雨量	最大土壌雨量指数
降雨(事例)数	24	41

災害形態	地域特性	降雨特性
切土のり面	のり面が40°以上の急勾配で、半固結～固結類や火山性類、花崗岩類の地山強度が低く、表層部が風化しやすい地質条件である切土のり面は、降雨時に雨水の浸透により崩壊発生しやすいと考えられる	降雨形態は断続的な降雨で長時間降雨が多く、長時間にわたる降雨イベントにより総雨量が上昇し、災害が発生した事例が多く、連続雨量等の長期降雨指標による災害発生危険性の判断は重要であると考えられる。
自然斜面	道路上方の斜面が40°程度の急勾配で、半固結～固結類や花崗岩類の地山強度の低い、または表層部が風化しやすい地質条件の自然斜面は、降雨により崩壊し、崩壊土砂が道路まで到達して道路災害を引き起こす可能性が高いと考えられる。	降雨形態は、後方集中および中盤集中の降雨で長時間降雨が多く、長時間にわたる降雨イベントの中盤や後方に現れる降雨ピークにより、土層の飽和度や地下水位の上昇により災害発生した事例が多いと見られ、長期降雨指標と短時間降雨指標の併用により災害発生危険性の判断は重要であると考えられる。
盛土	のり面勾配は27°～63°の範囲に分布し、特徴はなく、勾配より盛土材料の土質条件の影響が大きいに思われる。	降雨形態は、中盤集中の降雨が比較的多いものの、降雨期間や降雨強度は、ほかの災害形態のような特徴的な降雨パターンは明確ではなかった。盛土災害は、地域特性の影響要因が大きく、地形や地質条件から災害発生危険性のある箇所を洗い出して、降雨時に路面の冠水や近傍河川の増水等、水の状況を監視することは重要であると考えられる。

割合	48%	82%
----	-----	-----

表2 災害形態ごとの災害発生危険性

さらに、各事例の整理結果から切土のり面、自然斜面及び盛土ごとに災害発生危険性と地域特性(地質条件、法面勾配)及び降雨特性の関係を分析した結果を表2に示す。

同様に、災害発生危険性に関する災害形態別の雨量指標ごとの考察は次のとおりである。

① 切土のり面

- 時間雨量や半減期1.5時間の実行雨量といった短期雨量指標による把握が困難であるが、連続雨量や土壌雨量指数、または半減期の長い実行雨量といった長期雨量指標のほうは有効であると考えられる。
- 連続雨量については、先行降雨の影響をよりよく反映できるよう、リセット条件(現状2mm以下3時間リセット)の見直しが望ましい。

② 自然斜面

- 連続雨量や土壌雨量指数、または半減期の長い実行雨量といった長期雨量指標は極めて有効である。
- 降雨ピーク時に発生したことも多く、この場合には短期雨量指標である時間雨量や半減期1.5時間の実行雨量により把握可能であり、短期雨量指標と長期雨量指標の組合せ案の適用はより有効と考えられる。

③ 盛土

- 短期雨量指標より長期雨量指標のほうはやや有効である。
- ほかの災害形態と比べて傾向が不明瞭であるが、短期雨量指標と長期雨量指標の組合せ案は時間雨量または連続雨量の単独な運用より効果が期待できると考えられる。

[成果の活用]

道路土工構造物点検要領(仮称)や道路土工指針類の改訂に反映予定。

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

道路構造物研究部 道路基盤研究室

(研究期間 平成 26～29 年度)
室 長 久保 和幸
主任研究官 谷川 征嗣
研 究 官 榎本 忠夫

[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、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構造物の耐震性照査結果と実際の被災程度の関係性は良く分かっていない。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、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の関係性について検討した。

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

道路構造物研究部 道路基盤研究室

(研究期間 平成 28～30 年度)
室 長 久保 和幸
主任研究官 谷口 聡
研 究 官 船越 義臣

[研究目的及び経緯]

平成 13 年 12 月に制定された「舗装の構造に関する技術基準」、及び「舗装の長期保証制度」各々のフォローアップ、並びに舗装に関する新技術の普及促進のため、舗装の要求性能及び長期保証制度に関する研究の一環として、舗装工事の性能化規定の推進や各地方整備局で実施している長期保証制度の技術支援、各種舗装技術の有する性能の定量評価等を実施している。

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。

インフラ被災情報のリアルタイム収集・集約・共有技術の開発

Development of a system for early confirmation of mega-disaster damage

(研究期間 平成 26～30 年度)

道路構造物研究部	道路地震防災研究室	室 長	片岡正次郎
		主任研究官	中尾 吉宏
		研 究 官	中川 量太
社会資本マネジメント研究センター		情報研究官	前田 安信
	社会資本情報基盤研究室	室 長	関谷 浩孝
		研 究 官	今野 新
土砂災害研究部	土砂災害研究室	室 長	野呂 智之
		主任研究官	神山 嬢子
		研 究 員	鈴木 大和

[研究目的及び経緯]

南海トラフ地震や首都直下地震等の発生リスクが懸念されており、大規模で広域的な地震災害の発生時であっても、インフラ施設の被災情報等を迅速に収集・集約・共有できる技術の開発が求められている。そこで、本研究では、ICTや衛星画像処理技術等を活用することにより、インフラ管理者のニーズに応えられる即時性・網羅性・確度を確保してインフラ施設等の被災情報を収集・集約・共有する技術の開発を進めている。これにより、災害直後の「情報空白期間」を可能な限り排除し、国土交通省地方整備局等の迅速な災害対応を支援することを目指している。

28年度は、熊本地震の発生直後からのインフラ管理者による情報収集と震災対応の実態を調査し、時間とともに変化する震災対応においてインフラ管理者が求める情報ニーズを明らかにした。また、震災対応の実務における極めて高い情報ニーズに即応し、本年度に構築した情報分析・意思決定支援システムのプロトタイプに更に改良を加え、震度順にリストアップしたCCTVカメラリストを統合災害情報システムDiMAPS等に地震直後に自動発信する機能等を構築した。

また、効率的な初動調査観測オペレーションを実施するための初動調査計画立案支援システムの観測機会検索機能の拡充等の機能改良を実施するとともに、熊本地震等を事例とした二時期のSAR画像で抽出可能な崩壊地の特徴や判読時の留意点を整理した。

さらに、地震直後の被害状況を迅速に把握できるようにするため、強い揺れに曝されたエリアのCCTVカメラからパノラマ画像を作成するパノラマ画像作成システムのプロトタイプやCCTVカメラ映像から変状箇所等の大きさを測る画像計測システムのプロトタイプを開発した。

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

室 長 片岡 正次郎
主任研究官 中尾 吉宏
研 究 官 中川 量太

[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基盤面の設計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。

道路橋の耐震補強効果の評価に関する調査

Study on effectiveness of seismic retrofit for highway bridges

(研究期間 平成 28～30 年度)

道路構造物研究部 道路地震防災研究室

室 長 片岡 正次郎
主任研究官 中尾 吉宏
研 究 官 中川 量太

[研究目的及び経緯]

本研究は、これまでに実施されてきた道路橋の耐震補強の効果を分かりやすく示すことで、地方公共団体による耐震補強を促すことを目的としている。また、道路橋の耐震補強を一層効率的に進めていけるよう、地震による道路橋の被災状況を分析し、未補強橋梁に対する今後の耐震補強の進め方を検討するものである。

28 年度は、平成 23 年東北地方太平洋沖地震及び平成 28 年熊本地震を対象として、道路橋の被災状況や地震発生当時の耐震補強の実施状況等に関する情報を地方整備局等から収集した上で、耐震補強による道路橋被害の軽減効果を分析した。また、耐震補強により道路機能が地震の発生直後から確保できたことによる様々な効果について分析を行った。その結果、例えば、くしの歯作戦による早期道路啓開には、兵庫県南部地震の教訓を活かして進められてきた耐震補強が大きく寄与していること等が分かった。

災害発生時の被災規模等の早期把握技術に関する調査

Study on technologies of a damage survey on road in first stage after a disaster

道路構造物研究部 道路地震防災研究室

(研究期間 平成 27～29 年度)
室長 片岡 正次郎
研究官 梶尾 辰史
研究官 中川 量太
研究員 石井 洋輔

【研究目的及び経緯】

平成 23 年東北地方太平洋沖地震や、平成 28 年熊本地震では、緊急輸送道路の早急な交通確保の重要性が再認識された。大規模地震発生時には、道路橋が被災することで通行障害が発生し、職員の現場到着が遅れ、被災状況把握に時間を要する恐れがある。また道路啓開時には、安全に通行できる道路橋の選定が求められることから、被災位置や被災規模などの状況把握を早期に行い、通行の可否を判断することが地震後の初動対応において効果的である。

本研究は、地震発生時の道路管理等に必要な被災情報を早期に把握するため、既存の道路情報や新技術・新材料、ICT を活用し、低コストで効率良く必要な被災情報を道路管理者へ提供する早期把握技術の検討及び検証を行う。

平成 28 年度は、熊本地震における道路橋の被災状況を整理した結果、過年度成果である道路橋被災状況把握システムでは計測できない被災が複数確認された。その結果を踏まえ、道路橋被災状況把握システムに新たな計測機器を追加した。そして、熊本県と大分県の実橋 4 橋を試行フィールドとして選定し、改良した道路橋被災状況把握システムの設置を行い、計測機器の要求性能を整理した。

道路災害発生時の危機管理対応能力に関する調査

Survey on ability to respond to crisis management in case of road disaster

道路構造物研究部 道路地震防災研究室

(研究期間 平成28～30 年度)
室長 片岡 正次郎
主任研究官 今長 信浩
研究員 石井 洋輔

大規模な地震災害が発生した後、適切かつ迅速に救援活動や緊急物資を提供するためには、適切な道路開通が必要である。そのためには、大規模な地震災害を前提とした瓦礫量の算定、沿道状況、道路構造に基づいた啓開の容易さを検討する必要がある

本年度は、地方開発局等が作成した大規模な地震災害のデータを収集、整理を行い、瓦礫算定式の構築、道路啓開に関する各種検討を行った。

災害対応時の管理基準に関する調査

Survey on management standards at the time of disaster

(研究期間 平成 28～30 年度)

道路構造物研究部 道路地震防災研究室

室長	片岡 正次郎
主任研究官	今長 信浩
研究員	石井 洋輔

国土交通省は、異常降雪が発生した場合に具体的に対応するためのタイムラインを設定しているが、その有効性を高めるためには、地域特性や積雪パターンを詳細に分析する必要がある。また、除雪を適切に行うためには、降雪状況を的確に把握し、予測手法を構築する必要がある。今回の調査では、地域特性、道路雪害が発生しやすい気象条件、道路構造の調査、積雪レーダ技術の検討などを行った。

河川施設における強震計点検調査

Observation of strong ground motion at river facilities

(研究期間 昭和 60 年度～)

道路構造物研究部 道路地震防災研究室

室長	片岡 正次郎
主任研究官	中尾 吉広
研究官	梶尾 辰史
研究員	石井 洋輔

〔研究目的及び経緯〕

国土交通省では、公共土木施設の耐震設計技術の向上などを目的とし、全国の堤防、堰などの河川構造物等において強震観測を行ってきており、これまでに実際に発生した地震にて多くの観測記録が得られている。これらの観測記録は河川構造物の耐震性能照査指針などをはじめとした各種設計基準に反映され、構造物の耐震設計技術の向上に寄与するとともに、ホームページなどを通じて情報提供がなされてきた。

平成 28 年度についても、これまでと同様に強震観測を継続・維持していくために、強震観測施設の点検を行い、必要に応じて補修を行い、観測された強震記録の整理、蓄積を行った。