

7. 道路構造物（下部工・トンネル・大型カルバート等）の  
構造・維持管理・対災害性の高度化

# トンネルの合理的な点検法及び 設計・施工法に関する調査検討

Study on rational method for inspection, design and construction of road tunnels

(研究期間 令和3年度～令和5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 西田 秀明  
Head NISHIDA Hideaki  
主任研究官 佐藤 正  
Senior Researcher SATO Tadashi  
研究員 藤原 茜  
Researcher FUJIWARA Akane  
交流研究員 近藤 健太  
Guest Research Engineer KONDO Kenta  
交流研究員 澤口 啓希  
Guest Research Engineer SAWAGUCHI Hiroki

The purpose of this study is to improve the efficiency of tunnel maintenance and rationalize the design of tunnels. In FY 2021, the results of tunnel inspections were analyzed, the capacity of the lining was studied using analytical methods. In addition, considerations for geological and geotechnical uncertainties at the tunnel investigation and planning stages are summarized.

## 〔研究目的及び経緯〕

道路関係法令の改正により、平成26年度から、トンネル等の道路構造物について5年に1度の定期点検が義務付けられたことを踏まえ、本研究では点検等の効率化・高度化に関する調査・検討を行っている。また、トンネル新設時の要求性能に応じた合理的な設計・施工法に関する研究・検討を行っている。

本研究は、道路トンネル定期点検の信頼性向上及び合理化の手法に関する検討に必要な基礎資料を得るため、定期点検の1巡目と2巡目の比較等に基づく構造条件・環境条件・部位別の変状の傾向等に関する分析を行った。また、道路トンネルに関する技術基準の性能規定化に向けた検討に必要な基礎資料を得るため、覆工の耐荷力を評価するための解析手法の検討及び調査・計画段階における配慮事項の整理を行った。

## 〔研究内容及び研究成果〕

### 1. 道路トンネル定期点検結果の分析

2巡目(令和1～2年度)の定期点検を実施したトンネルのうち、1巡目点検のデータがある659施設について、同スパンにおける健全性診断結果を分析し、1巡目と2巡目でスパンの判定区分が変化しない、または悪化した割合を工法及び変状区別に整理した結果を図-1に示す。措置や対策により判定区分が改善したと診断されたものは除いた。なお、ここでは判定区分の悪化や改善とは、スパンの健全性診断における判定区

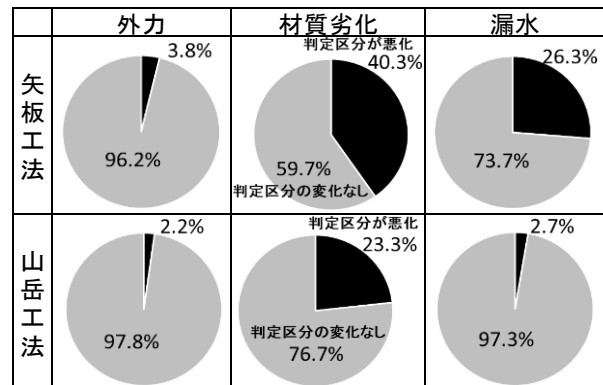


図-1 同スパンにおける判定区分悪化、変化なしの割合

分の状態の定義に照らし合わせ、区分がⅠからⅡ、ⅡからⅢと遷移することを悪化、その逆を改善と称す。1巡目から2巡目で判定区分が悪化したスパンの割合は、矢板工法の材質劣化が最多で約40%、次いで矢板工法の漏水で約26%、山岳工法の材質劣化で約23%、その他、外力による変状や、山岳工法の漏水では約2～4%と少ない。この結果から道路トンネルにおける判定区分の悪化には、矢板、山岳工法ともに外力や漏水よりも材質劣化が大きく影響していることが分かる。

上記で判定区分が悪化したスパンの割合が最も多い矢板工法の材質劣化について、変状の状態等を踏まえて判定された対策区分の遷移を整理した結果を図-2に示す。なお、2巡目の対策区分は、たたき落としなどの応急措置を行う前の状態で評価した結果を対象として整理した。2巡目点検時に1巡目点検で確認され

※本報告は令和3年度当初予算の標記の研究課題を令和4年度に継続して得た結果をまとめたものである。

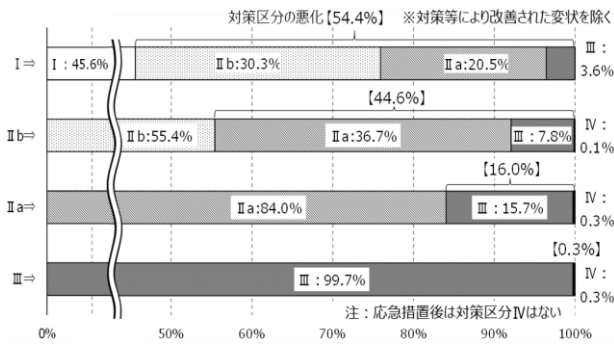


図-2 対策区分の遷移（矢板工法・材質劣化）

た変状の進行がみられ、対策区分が悪化したスパンの割合は、対策区分 I から II b、II a または III 54.4%、II b から II a、III または IV で 44.6%、II a から III または IV で 16.0% であり、矢板工法における材質劣化では対策区分 I および II b と判定された変状が次回点検時までに行進する割合が高いことが分かった。このことから、利用者に対して影響を及ぼす可能性が低い段階の変状に対する予防保全としての措置・対策の重要性がこの分析により裏付けされたといえる。

## 2. 覆工の耐荷力に関する数値解析的検討

現在、山岳トンネルは、トンネル内空を保持するための耐荷構造を実績に基づき地山等級毎に標準的な支保パターンとして定められている。本検討では、性能規定化に向けて、その耐荷メカニズムを明らかにするために、地山の変形係数をパラメータとした数値解析を実施し、破壊モードおよび耐荷力に与える変形係数の影響について検証を行った。なお、解析には曲げ圧縮破壊に対する再現性を確認した数値解析モデルを用いた。

コンクリートの圧縮強度は 18 [N/mm<sup>2</sup>]、弾性係数は 18 [kN/mm<sup>2</sup>]、引張強度は 1.6 [N/mm<sup>2</sup>] とし、地盤ばねのばね定数は地山の変形係数をもとに設定した。地山の変形係数は 2000 [N/mm<sup>2</sup>] から 150 [N/mm<sup>2</sup>] までの全 4 ケースとした（表-1）。荷重は、図-3 に示すように天端を中心に 30° の範囲に鉛直下向きの作用を、計算が不安定になるまで漸増させて与えた。

各変形係数における天端変位と荷重の関係を図-4 に示す。このとき、地山の変形係数が小さいほど荷重に対する変形量が大きくなった。また、ひずみが卓越し

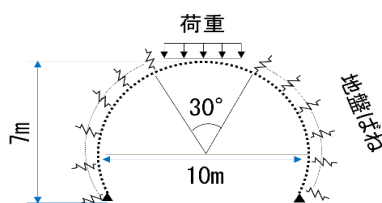


図-3 解析モデルの概要図

表-1 解析ケース

ケース名（相当する地山等級）	C I	C II	D I	D II
地山の変形係数 [N/mm <sup>2</sup> ]	2000	1000	500	150

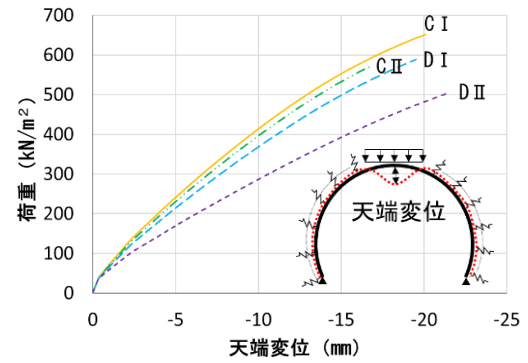


図-4 天端変位と天端荷重の関係

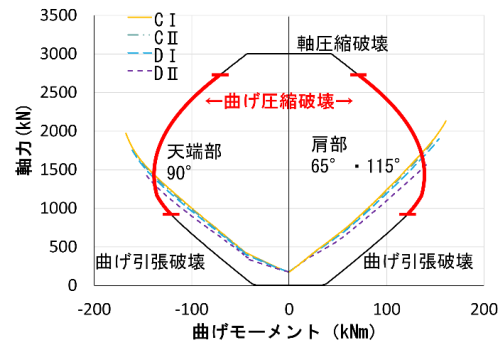


図-5 曲げモーメントと軸力の関係

た 90°、65°、115° に着目して、曲げモーメントと軸力の関係を図-5 に示す。天端部、肩部ともに曲げ圧縮破壊をしており、変形係数の違いによらず破壊モードが変わらない。今回の検討条件では、変形係数の影響を考慮した性能の検証が必要ないことが確認できた。

## 3. 調査・計画段階における配慮事項の整理

新設トンネルの調査・計画段階において基準等で規定・配慮すべき事項を、工法に関わらず整理した。まず、過去の不具合事例を収集整理し、事業者等へのアンケートやヒアリング等を実施した。都市部では地質・地盤等に起因する不具合に対し、調査・計画段階でリスクを適切に評価するとともに、不確実性を事業の進捗に応じて小さくするなどのリスクマネジメントが重要であることを確認した。他にも「複雑な地質の場合では高品質ボーリングが有効な場合があること」、「透水性の高い地質が存在する場合は、古地図により旧河道等の存在を把握する必要があること」、「土地利用状況や履歴を考慮し、切羽前方探査等を実施して埋設物などを確認すること」など、調査等に関する配慮事項を整理した。

### 【成果の活用】

本研究成果等を踏まえて、更なる点検の効率化・合理化の提案につなげていく予定である。また、これまでの定期点検結果を基に、覆工コンクリートのひび割れや、うき・はく離などの変状等を写真と解説により分かりやすくまとめた事例集を公表した。

# トンネルの合理的な点検法及び 設計・施工法に関する調査検討

Study on rational method for inspection, design and construction of road tunnels

(研究期間 令和3年度～令和5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 西田 秀明  
Head NISHIDA Hideaki  
主任研究官 佐藤 正  
Senior Researcher SATO Tadashi  
研 究 員 藤原 茜  
Researcher FUJIWARA Akane  
交流研究員 近藤 健太  
Guest Research Engineer KONDO Kenta  
交流研究員 澤口 啓希  
Guest Research Engineer SAWAGUCHI Hiroki

The purpose of this study is to improve the efficiency of tunnel maintenance and rationalize tunnel design. In FY 2022, we analyzed the periodic inspections results of road tunnel, studied the capabilities of tunnel lining through experiments, and collected case studies on the design of tunnels under special conditions.

## 〔研究目的及び経緯〕

道路関係法令の改正により、平成26年度から、トンネル等の道路構造物について5年に1度の定期点検が義務付けられたことを踏まえ、本研究では点検等の効率化・高度化に関する調査・検討を行っている。また、トンネル新設時の要求性能に応じた合理的な設計・施工法に関する研究・検討を行っている。

本研究は、道路トンネル定期点検の信頼性向上及び合理化の手法に関する検討に必要な基礎資料を得るため、定期点検の1巡目と2巡目の比較等に基づく構造条件・環境条件・部位別の変状の傾向等に関する分析を行った。また、道路トンネルに関する技術基準の性能規定化に向けた検討に必要な基礎資料を得るため、覆工耐荷力の評価手法に関するデータ取得実験及び個別具体的に設計している低土被りなどの特殊条件における山岳トンネルの覆工設計に関する事例収集・整理を行った。

## 〔研究内容及び研究成果〕

### 1. 道路トンネル定期点検結果の分析

2巡目(令和1～3年度)の定期点検を実施したトンネルのうち、1巡目点検のデータがある927トンネルについて、同スパンの変状の進行推移(1巡目→2巡目の健全性の変化)を対策区分毎に整理した。

図-1に示すとおり、材質劣化のうき・はく離変状箇所数の推移は、1巡目と2巡目で大きな変化はみられない。

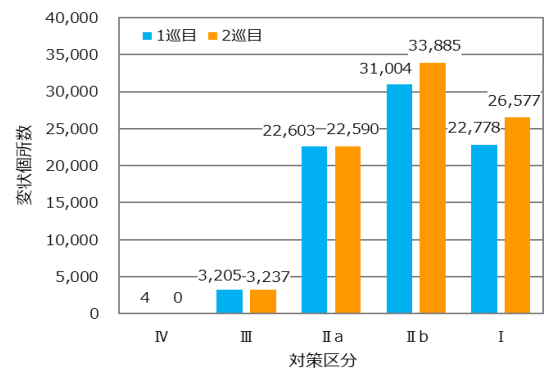


図-1 うき・はく離変状箇所数の推移

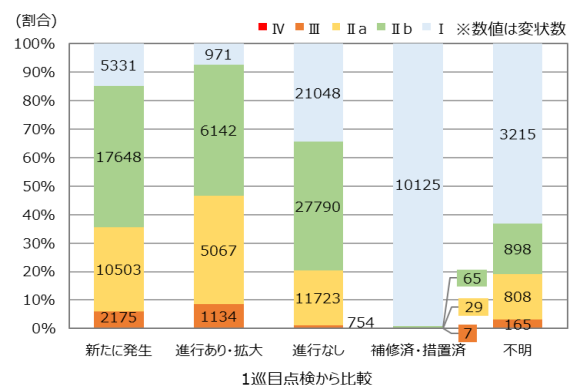


図-2 変状(材質劣化)の対策区分

2巡目点検における材質劣化の変状の対策区分(1巡目点検からの進行程度)を図-2に示す。前回点検から補修又は措置済みの変状数をみると、対策区分IIIの

変状はほとんどなく、対策区分Ⅰの変状が多い。このことから、適切な補修又は措置が行われたことが分かる。一方で、前回点検から変状が「新たに発生」、「進行あり・拡大」したものは対策区分Ⅱa及びⅢの変状の割合が比較的高い。

## 2. 覆工の耐荷性能確認実験

山岳トンネル工法における覆工の耐荷力評価手法の検討に必要なデータ取得の一環として、実物大の覆工供試体を作成して荷重実験を行い、覆工の曲げ引張破壊時の耐荷力や変形能等を確認した。覆工供試体は、2車線道路トンネルに相当する内径9.1m、覆工厚30cm、延長100cmの半円形で、コンクリートの配合は表-1に示す。実験装置は、外周10°ピッチ、全17箇所に油圧ジャッキが設置可能で、ジャッキは個別に制御可能である。(写真-1)

荷重形式はジャッキのバネ化制御により変形係数500MPa程度(地山等級DⅠ相当)の地盤を再現し、天端にあたる90°のジャッキの変位制御により0.2mm/ステップで荷重する方法とした(図-3)。

実験の結果、以下の結果が得られた。

- ・天端内側、肩部外側、側部内側の順にひび割れが発生し、破壊に至る。天端ひび割れは最大荷重の85%程度で発生し、ひび割れ発生後も荷重は増加する。肩部ひび割れ発生直前で最大荷重となり、ひび割れ後の荷重増加は見られない。側部ひび割れ発生により耐荷力が完全に失われる。(図-4)

- ・ひび割れに分散性は見られず、ひび割れ発生と同時にひび割れ深さが覆工厚の50%に達し、脆性的な挙動を示す。(写真-2)

- ・覆工供試体の地山側への変位は、最大で2mm程度とわずかな変位量で破壊に至る。

- ・肩部ひび割れ発生により、背面空洞を模擬した範囲の外側への変位が現れ始める。変形モードが変化し、耐荷力が失われたと考えられる。

今回得られたデータを踏まえ、現状の覆工の耐荷力や変形能等について解析的検討を進める予定である。

表-1 コンクリートの配合

セメント種類	呼び強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	スランブ [cm]	粗骨材最大寸法 [mm]	W/C [%]	s/a [%]	空気量 [%]
普通	21	15	20	61.8	46.7	4.5



写真-1 実験装置・覆工供試体

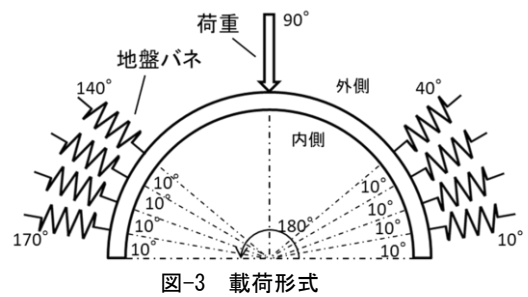


図-3 荷重形式

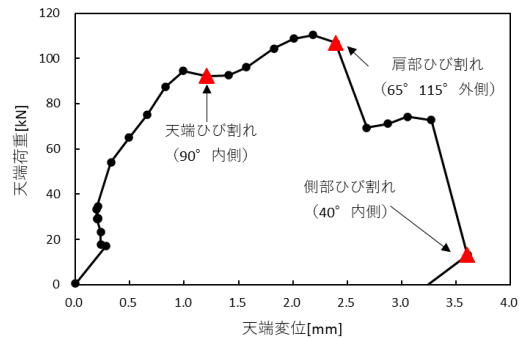


図-4 天端荷重と天端変位



(a) 供試体内側

(b) 供試体上面 (厚さ)

写真-2 90° 周辺のひび割れ発生状況

## 3. 特殊条件における山岳トンネルの設計手法

山岳トンネル工法では、これまでの経験や実績による地山分類に応じた標準支保パターンを適用しているが、低土被り部や偏土圧の影響が予想されるなどの特殊条件区間では、個別の設計が必要となる。しかし、特殊条件に応じて見込むべき作用やその大きさ、設計手法等が道路トンネル技術基準に具体的には示されておらず、技術者の判断により行われているのが現状である。そこで、これまでに実施された特殊条件におけるトンネルの設計データを収集し、設計実態の整理を行った。その結果、特殊条件における山岳トンネルの設計は、地山の緩む範囲や程度、覆工等に作用する応力や変形をFEMやFDMといった解析手法により求めて設計する事例よりも、過去の類似事例や標準設計の支保工・覆工をもとに設計する事例が多いこと等が確認できた。

### [成果の活用]

道路トンネルの性能規定化に向けて、山岳トンネル工法における設計時の作用の考え方や、覆工コンクリートに新技术を採用する場合の耐荷力検証例として反映する予定である。



## 既設橋梁基礎の補修補強の調査・設計手法の調査検討

Research on investigation and design methodology for repair and reinforcement of existing bridge

(研究期間 令和2年度～令和4年度)

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

室 長 西田 秀明  
Head NISHIDA Hideaki  
主任研究官 上原 勇気  
Senior Researcher UEHARA Yuki  
研 究 官 山田 薫  
Researcher YAMADA Kaoru  
交流研究員 平神 拓真  
Guest Researcher HIRAGAMI Takuma

The National Institute for Land and Infrastructure Management is conducting a study to establish an evaluation method to determine the necessity of repair and reinforcement of existing bridge foundations and a design method to enable rational repair and reinforcement.

In FY2021, the variation of response values and resistance values were evaluated by Monte Carlo Simulation, and partial coefficients were estimated, considering combinations of pile types and pile construction methods, for foundations reinforced with additional piles to the existing pier pile foundations.

### 〔研究目的及び経緯〕

国土技術政策総合研究所では、既設橋梁基礎の補修補強の必要性判断手法及び合理的な補修補強を可能とする設計手法の確立に向けた検討を行っている。

令和3年度は、橋脚杭基礎の補修補強設計において、新設設計と同等の信頼性が得られる設計手法を検討するため、増し杭により補強した既設橋脚基礎を対象として、杭種・杭工法の組合せ等を考慮し、モンテカルロシミュレーションによる応答値（杭頭鉛直反力等）と抵抗値（曲げ耐力）のばらつきの評価及び部分係数の試算を行った。

### 〔研究内容〕

#### 1. 研究の方法

杭基礎の新設設計に対する部分係数に関する既往の研究成果である土木研究所資料4382号（以下、土研資料）<sup>1)</sup>を参考に、平成24年道路橋示方書（以下、道示）を適用した新設設計と同等の信頼性となる補修補強設計に対する部分係数を検討した。なお、本検討では補修補強特有の条件（例えば杭の諸元や間隔の違いに起因する群杭効果等の影響）については考慮していない。

#### 2. 既設橋脚杭基礎及び増し杭補強の試設計

##### (1) 既設橋脚の試設計

最初に既設橋脚杭基礎の試設計を行った。本検討においては昭和55年道示を適用した既設杭基礎を対象とした。既設杭基礎の杭種は鋼管杭、RC杭及び場所打ち杭の3種とし、鋼管杭・RC杭については杭工法の違い（打込み・中掘り）を考慮した。また、それぞれ杭頭曲げモーメントが卓越するパターン（正曲げ）と地中部曲げモーメントが卓越するパターン（負曲げ）の2種

類の杭体曲げモーメント分布となるように、地盤条件や橋脚高さを調整した試設計ケースを設定した。

次に、試設計を実施した既設橋脚杭基礎に対して、平成24年道示を適用して、増し杭工法による補修補強の試設計を行った。既設杭と増し杭の杭種と杭工法の組合せは表-1に示す11通りとし、既設橋脚杭基礎の試設計と同様に、それぞれ2種類の杭体の曲げモーメント分布となるように杭配列を調整した試設計ケースを設定した。

モデル化や荷重分担の考え方は、「既設道路橋基礎の補強に関する参考資料（平成12年2月、（社）日本道路協会）」を参考とした。ただし、既設杭がRC杭の組合せでは、レベル2地震動を考慮する設計状況において、既設杭・増し杭の荷重分担では増し杭の本数が膨大となり、現実的な補強ではないため、この場合においては増し杭のみで負担するという条件とした。

表-1 既設杭と増し杭の杭種と杭工法の組合せ

杭種	杭工法	増し杭		
		鋼管杭	RC杭	場所打ち杭
既設杭	打込み杭	○	○	○
	中掘り杭	○	○	○
	打込み杭	○	○	○
	中掘り杭	○	○	○
	場所打ち杭			○
	場所打ち杭			○

#### 3. ばらつきの統計量の評価

##### (1) 評価方法

増し杭による補強を行った橋脚基礎における既設杭と増し杭の応答値と抵抗値のばらつきの統計量を、土研資料を参考に、地盤抵抗等の不確実性を考慮したモ

※本報告は令和3年度当初予算の標記の研究課題を令和4年度に継続して得た結果をまとめたものである。

ンテカルロシミュレーションを行い算出した。このうち水平方向地盤反力係数  $k_H$  の不確実性については、地盤の変形係数の推定方法等の違いによるばらつきを考慮した(表-2)。なお、今回検討対象とする設計状況はレベル1地震動を考慮する状況とし、応答値の算出に際しては地震荷重を確定値として算出した。また、既設杭の杭頭接合部の接合条件は、平成29年道示における構造細目と異なる場合があることを考慮し、剛結に加えヒンジと仮定した場合についても試算した。

表-2 水平地盤反力係数  $k_H$  の不確実性の統計量

ケース	水平方向地盤反力係数又は地盤の変形係数の推定方法	平均	変動係数
Case-1	杭の水平載荷試験から水平方向地盤反力係数を推定	1.00	0.25
Case-2	標準貫入試験に加えて室内試験又は孔内水平載荷試験を行って変形係数を推定		0.45
Case-3	$N$ 値のみから変形係数を推定		0.60
Case-4	砂質土( $N \geq 5$ )		0.70
Case-5	粘性土( $N < 5$ )		1.00

(2)ばらつきの評価結果

ここでは代表として既設杭(RC杭、場所打ち杭)と増し杭(場所打ち杭)それぞれの応答値(杭頭鉛直反力等)と抵抗値(曲げ耐力)の前述した不確実性に起因する主なばらつきの評価結果について以下に概要を記載する。なお、統計量に関する記載は特性値で基準化した値に対するものである。

1) 応答値に関するばらつきの評価結果

最大杭頭鉛直反力(最大軸力)については、既設杭に比べて増し杭の方が変動係数は最大で3倍程度大きく、既設杭の杭頭接合条件(剛結、ヒンジ)の違いが最大軸力のばらつきに及ぼす影響に有意な差は確認されなかった。

杭頭水平変位については、平均値及び変動係数は既設杭の杭頭接合条件が剛結の場合より、ヒンジの場合の方がそれぞれ最大で2割程度大きくなった。

2) 抵抗値に関するばらつきの評価結果

杭体の曲げ耐力については、既設杭の平均値は1.0前後、変動係数は10%程度以下である。これに対して増し杭では、平均値は既設杭と同程度であるが、降伏曲げモーメントの変動係数は杭頭曲げ卓越で10%以下であるのに対して、地中部曲げ卓越では5-20%とケースにより幅がある結果となった。

4. 部分係数の試算結果

押込み力、水平荷重(水平変位)及び杭体部材のそれぞれの限界状態の照査に用いる部分係数を試算した。本報では限界状態1に対する試算結果についてのみ示す。試算にあたっては土研資料を参考に目標信頼性指標  $\beta_T$  を0.5と設定して行った。

(1) 押込み力の照査における部分係数

杭の降伏支持力の特性値に対して考慮する部分係数を算出した結果を表-3に示す。部分係数は増し杭基礎の既設杭、増し杭いずれに対しても新設杭を対象とした部分係数の試算結果と同程度となった。

表-3 押込み力の限界状態1の照査に用いる部分係数の試算結果

杭工法	試算結果の平均値	新設杭検討(土研資料)
打込み杭	【既設杭】 0.72	0.71
中掘り杭	【既設杭】 0.79	0.77
	【増し杭】 0.79	
場所打ち杭	【既設杭】 0.75	0.74
	【増し杭】 0.77	
回転杭	【増し杭】 0.84	0.85

(2) 水平変位の照査における部分係数

杭頭における杭の降伏水平変位の特性値に対して考慮する部分係数を算出した結果を表-4に示す。いずれも新設杭を対象とした部分係数の試算結果と同程度であった。

表-4 水平変位の限界状態1の照査に用いる部分係数の試算結果

$K_H$ のばらつき	試算結果の平均値			新設杭検討(土研資料)
	既設杭頭条件		比率②/①	
	①剛結	②ヒンジ		
Case-1	0.78	0.78	1.00	0.76
Case-2	0.72	0.71	0.98	0.70
Case-3	0.65	0.63	0.97	0.63
Case-4	0.62	0.60	0.96	0.60
Case-5	0.51	0.48	0.94	0.49

(3) 部材(杭体)の照査における部分係数

鋼管杭は降伏強度(応力度)の特性値に対して、RC杭・場所打ち杭は降伏曲げモーメントの特性値に対して、それぞれ部分係数を算出した結果を表-5に示す。一部の条件(負曲げ・増し杭・コンクリート杭)では新設杭を対象とした部分係数の試算結果より小さいものの、そのほかはおおむね同程度であった。

表-5 部材の強度に関する限界状態1の照査に用いる部分係数の試算結果

$K_H$ のばらつき	正曲げ			新設杭検討(土研資料)	負曲げ				新設杭検討(土研資料)
	試算結果の平均値				試算結果の平均値				
	既設杭	増し杭	既設杭		既設杭	増し杭	既設杭	増し杭	
Case-1	0.94	0.93	0.93	0.94	0.86	0.91	0.84	0.82	0.86
					(0.92,0.83)	(0.94,0.90)	(0.88,0.80)	(0.86,0.77)	
Case-2	0.91	0.89	0.88	0.88	0.86	0.91	0.84	0.82	0.86
					(0.92,0.83)	(0.93,0.89)	(0.88,0.80)	(0.86,0.78)	
Case-3	0.86	0.84	0.83	0.83	0.86	0.90	0.85	0.83	0.86
					(0.92,0.83)	(0.93,0.88)	(0.88,0.81)	(0.87,0.78)	
Case-4	0.84	0.82	0.81	0.81	0.86	0.91	0.84	0.83	0.86
					(0.92,0.83)	(0.93,0.88)	(0.88,0.80)	(0.87,0.79)	
Case-5	0.77	0.74	0.73	0.73	0.86	0.91	0.84	0.84	0.85
					(0.91,0.83)	(0.92,0.86)	(0.88,0.81)	(0.87,0.80)	

※負曲げ中の数値…上段：全平均、下段：(鋼管杭、コンクリート杭)

【まとめ】

増し杭補強した橋脚杭基礎を対象に、レベル1地震動を考慮した設計状況における増し杭基礎の押込み力、水平変位、部材(杭体)の限界状態の照査に用いる部分係数を試算した結果、新設設計における部分係数の検討結果とおおむね大きな差がないことを確認した。

引き続き、新設基礎とは異なる既設の補修補強に特有な条件を踏まえた汎用性のある設計法を検討する。

【成果の反映】各種基準へ反映予定

【参考文献】1) (国研) 土木研究所：道路橋杭基礎の性能規定及び部分係数設計法に関する研究、土木研究所資料第4382号、2018。

# 大型カルバート等の要求性能に対応した維持管理手法 及び信頼性設計に関する調査検討

Investigation of maintenance management methods and reliability design for required performance of large culverts

(研究期間 令和3年度～令和5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 西田 秀明  
Head NISHIDA Hideaki  
主任研究官 谷 俊秀  
Senior Researcher TANI Toshihide  
研 究 官 山田 薫  
Researcher YAMADA Kaoru  
交流研究員 澤口 啓希  
Guest Research Engineer SAWAGUCHI Hiroki

In this research, we are investigating and examining the efficiency and sophistication of periodic inspections of sheds, large culverts, etc. In addition, we are conducting research and examination on rational design and construction methods according to the required performance when installing new large culverts.

In FY 2021, we used the results of periodic inspections to grasp the characteristics of deformations and analyze data on their occurrence tendencies in order to obtain the basic data necessary for examining methods for improving the reliability and rationalization of periodic inspections of sheds, shelters, and large culverts.

## [研究目的及び経緯]

本研究ではシェッド、大型カルバート等の定期点検の効率化・高度化に関する調査・検討を行っている。また、大型カルバート新設時の要求性能に応じた合理的な設計・施工法に関する研究・検討を行っている。

令和3年度は、シェッド、シェルター及び大型カルバートの定期点検の信頼性向上及び合理化の手法に関する検討に必要な基礎資料を得るため、定期点検結果を用いて、変状の特性把握および発生傾向に関するデータ分析を行った。

## [研究内容及び研究成果]

### 1. シェッドの定期点検結果の分析

2巡目（令和1～2年度）の定期点検を実施した国管理シェッドのうち、1巡目点検のデータがある277施設について、1巡目から2巡目における施設の健全性診断の判定区分の遷移を材質毎に割合で整理した結果を図-1に示す。RC製では2巡目で早期に措置を講ずべき状態（判定区分Ⅲ）の施設の増加に伴い、構造物の機能に支障が生じていない（判定区分Ⅰ）および予防保全の観点から措置を講ずべき状態（判定区分Ⅱ）の施設が減少している。一方、PC製および鋼製では、判定区分Ⅲが減少し、判定区分Ⅰ、Ⅱの増加がみられた。なお、いずれの材質でも、1、2巡目ともに緊急に措置を講ずべき状態である判定区分Ⅳの施設はなかった。

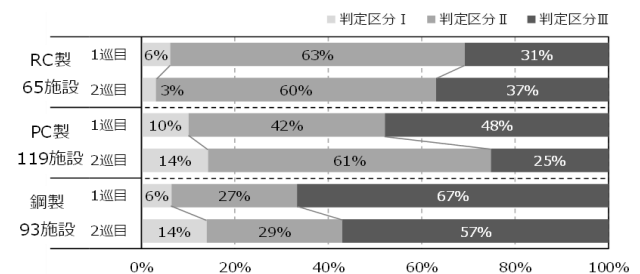


図-1 シェッドの材質毎の健全性診断の判定区分の遷移割合

次に、2巡目の点検結果について、材質別に、主要部材（頂版、主梁、壁・柱、受台）毎の部材等の健全性診断の判定区分の割合を整理した結果を図-2に示す。判定区分Ⅲの割合が最も多い部材は、RC製では頂版で28%、PC製では主梁で16%、鋼製では壁・柱で36%であった。それぞれの材質における変状発生傾向としては、RC製では頂版でひびわれ、剥離・鉄筋露出、うきといったコンクリートの変状が多く、PC製では現場打ち部材が多い山側受台でコンクリートの変状が多い傾向にある。鋼製では鋼製部材の腐食や防食機能の劣化が多く、鋼部材全体の30～50%で発生している<sup>1)</sup>。

判定区分からだけでは読み取ることができない、部材毎や変状種類毎の発生状況の現状や劣化の遷移を分析するため、客観的データである変状程度の評価を用い、Ⅲ判定の施設や部材が最も多い鋼製シェッドについて、変状程度に着目し、谷側柱と主梁の腐食について、2巡目2か年分の点検結果を用いて作成した劣化

※本報告は令和3年度当初予算の標記の研究課題を令和4年度に継続して得た結果をまとめたものである。



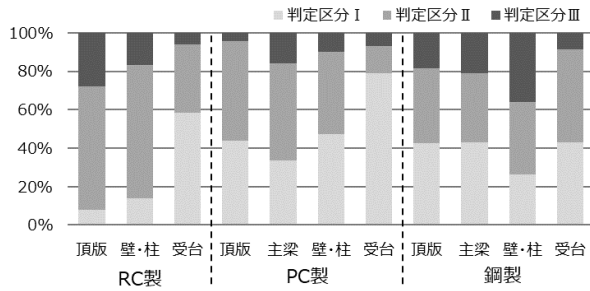


図-2 材質別シェッドの主要部材における判定区分割合

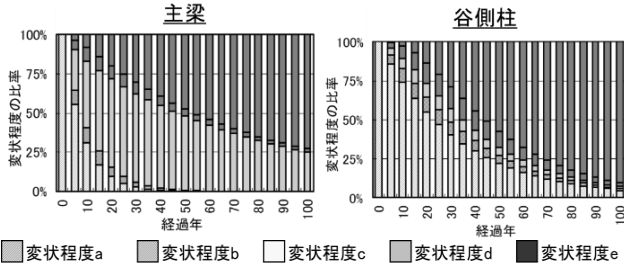


図-3 鋼製シェッドの劣化曲線（腐食）

曲線を図-3に示す。劣化曲線から、主梁よりも谷側柱の方が最も状態の悪い変状程度 e へ至る比率が大きく、より早く劣化する傾向にあることが分かる。

これらの要因の一つとして、シェッド全体の85%が積雪寒冷地域に設置されていることから、凍結防止剤や飛来塩分等の影響を受けやすい環境にあることが考えられる<sup>1)</sup>。

## 2. 大型カルバートの定期点検結果の分析

2巡目（令和1～2年度）の定期点検を実施した大型カルバートのうち、1巡目点検のデータがある814施設について、1巡目から2巡目における施設の健全性診断の判定区分の遷移を材質毎に割合で整理した結果を図-4に示す。場所打ち・プレキャストともに、施設健全性の判定区分は区分Iが減少、区分IIが増加している一方で、区分IIIの施設は減少している。これは、早期措置段階の施設の減少により、維持管理の段階が予防保全型へ移行しつつあることを示唆している。なお、カルバートでもIV判定施設は確認されなかった。

次に、2巡目の点検結果について、場所打ち、プレキャストごとにカルバート本体（頂版・側壁）と継手について、部材等の健全性診断の判定区分の割合を整理した結果を図-5に示す。判定区分の割合は、場所打ちの本体でIIが58%、IIIが7%、継手はIIが20%、IIIが約1%、プレキャストではIII判定はなく、II判定が本体で23%、継手で11%であり、場所打ち、プレキャストともに本体に変状が多い傾向にある。

前述のシェッドと同様に劣化の遷移分析のため、ボックスカルバートにおける変状程度 a～e の各変状の発生割合を図-6に示す。場所打ちでは頂版、側壁ともにひびわれが部材全体の6割以上と最も多い。プレキャストでは、場所打ち部材であるウイング部の漏水・遊離石灰が最も多く、部材全体の3割程度の部材に発

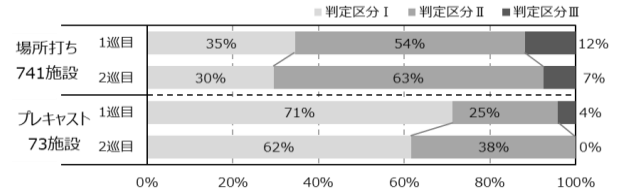


図-4 大型カルバートの健全性診断の判定区分の遷移割合

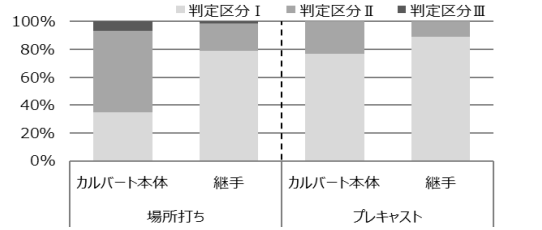


図-5 大型カルバートの主要部材における判定区分割合

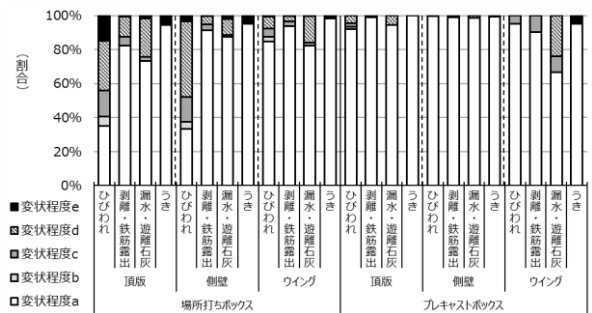


図-6 ボックスカルバートの各部材における変状発生割合

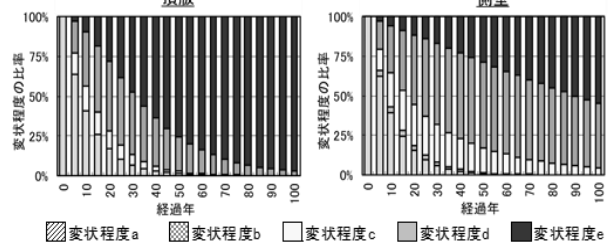


図-7 場所打ちカルバートの劣化曲線（ひびわれ）

生している。

更に、判定区分II、IIIの施設が多い場所打ちカルバート本体について、頂版と側壁のひびわれに着目し、2巡目2か年分の点検結果を用いて作成した劣化曲線を図-7に示す。両部材ともに変状程度cへの劣化進行は同程度であるが、変状程度d、eへ移行する比率が頂版の方が大きく、より早く劣化が進行する部材が多いことが分かる。頂版のひびわれについては、土かぶりや上部道路の交通量、斜角など、こういった要因が影響しているのか等について多角的な分析・整理を続けていく予定である。

### 【成果の活用】

本研究成果等を踏まえて、更なる点検の効率化・合理化の提案につなげていく予定である。

### 参考文献

- 1) 谷 俊秀、澤口啓希、谷口勝基、西田秀明：シェッドの健全性及び変状の傾向と特徴、土木技術資料 64-12 (2022) P44-49