

コンクリート道路構造物の性能評価に関する試験調査

Study on performance estimation of existing concrete members

(研究期間 平成 17 年度)

道路研究部道路構造物管理研究室 室長 玉越 隆史 主任研究官 渡辺 陽太
Road department Bridge and Structures division Head Takashi Tamakoshi Senior Researcher Youta Watanabe
主任研究官 渡邊 良一 研究員 武田 達也
Senior Researcher Ryouti Watanabe Research Engineer Tatsuya Takeda

In order to establish repairing or reinforcing methods of concrete members which have serious damages to originate in the alkaline-aggregate reaction(ASR), It is necessary to clarify the load-carrying capacity of the damaged concrete members. This research is loading capacity test which uses the actual structure for establishing the performance evaluation technique of the structure which deteriorates with ASR.

[研究目的及び経緯]

ASR による損傷は膨張性のある生成物ができることによってコンクリートに著しいひび割れが生じるのが特徴であるが、鉄筋が健全である限り耐荷性能に及ぼす影響は限定的であると考えられてきた。しかし、近年になって鉄筋の曲げ加工部で破断(写真1)しているものが報告されている。このため、国土交通省をはじめ各機関で、損傷実態の調査や、損傷を生じた構造物に対する健全度評価法ならびに補修補強設計手法に関する検討が進められている状況である。

本研究の目的は、ASR 損傷構造物の健全度評価と補修補強設計手法の確立の一環として、ASR 損傷を生じたコンクリート部材の耐荷力特性などの基礎的な情報を実橋に対する載荷試験から得ることである。



写真1 アルカリ骨材反応による鉄筋破断の例

[研究内容]

コンクリート部材の設計においては所定の耐荷力が発揮されるよう、耐荷力機構を力学モデルで表現し、設計では鉄筋とコンクリートの付着、コンクリート強度、ヤング係数、応力を分担する有効断面の範囲、プレストレス量、などを設計モデルによる評価の前提と

して仮定している。劣化コンクリート部材に対してもその実態にあった耐荷力機構をモデル化し、これらの諸量を少なくとも安全側の評価ができるよう適切に設定した上で解析的にその健全度や耐荷力を評価することができれば補強の必要性の判断や補強設計がより合理的なものになると考えられる。

当研究室では、H16 年度にコンクリートのひび割れがコンクリートと鉄筋の付着による一体性にどのように影響を及ぼすかについて模型実験による基礎的な検討を実施しており、平成 17 年度は、実際に ASR による著しい変状が生じている橋脚を用いて大規模な耐荷力試験を実施し、構造物の挙動に関するデータを取得した。

実験に用いたのは、地方の道路公社が管理する自専道にある 1977 年竣工の T 型の RC 橋脚で、ASR による損傷が著しく実験に先立って梁部の更新を含む大規模な補強工事が決定していたものである(写真2)。

実験は、橋脚補強工事用支保工を利用しての上部工の荷重の除荷、及び荷重調整した大型車(25t×2台)による載荷試験である。

図1に橋脚の鉄筋ひずみの計測位置を示す。



写真2 実験橋脚全景

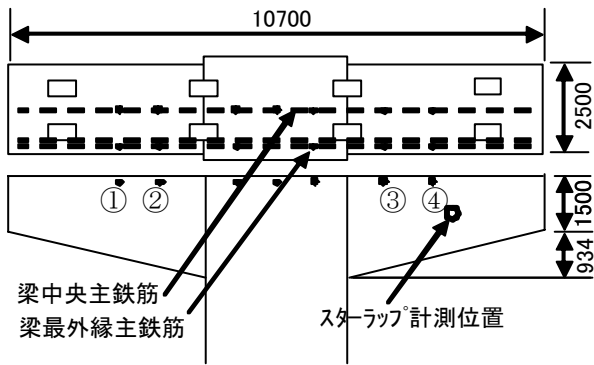


図1 鉄筋ひずみ

本橋脚では後に鉄筋破断調査を実施している。破断は全て最外縁鉄筋に生じており、その内40%のスタラップ、17%の主鉄筋についていずれも折り曲げ部で破断していることが確認されている。

表1に支点反力の値を示すが、上部工反力の除荷は設計死荷重に対しては87%、荷重車載荷は設計活荷重31%、合計すると設計上の死荷重+活荷重最大に対して70%に相当する荷重変動を与えたことになる。

表1 1支点あたりの反力値

	死荷重	活荷重Max	合計
設計値(kN)	870	370	1240
実測値(kN)	753	116	869
実測/設計	87%	31%	70%

[研究成果]

上部工荷重除荷時の、図1①~④の位置における梁中央、最外縁(端部折り曲げ部破断)主鉄筋ひずみを表2に示す。

片側の端部折り曲げ部が破断し、接するように配筋されているスタラップの折り曲げ部の40%が破断している最外縁主鉄筋と、損傷のない梁中央主鉄筋で実測値に明確な差は現れていない。またひずみの値はコンクリート断面の引張領域を無視したRC理論値②に対して2割以下であり、コンクリートの全断面を有効とした場合の主鉄筋位置でのひずみ値③に近い値となっている。

②断面におけるコンクリート上下縁ひずみと載荷荷重の変動にともなう主鉄筋ひずみの変動を図2に示す。主鉄筋ひずみがコンクリート上下縁ひずみを結ぶ直線上にないが、主鉄筋ひずみとコンクリート下縁ひずみを結ぶ直線は各載荷ケースで一定している。

このことから、本実験の荷重変動範囲では、主鉄筋の付着劣化や鉄筋破断の影響は現れず、上縁のかぶり部分を除いた残りの断面部では平面保持が成り立つ

挙動をしているものと考えられる。

また、本実験では図1に示す位置で健全なスタラップと折り曲げ部で破断しているスタラップのひずみを計測したが、ひずみは計測されず、明確なせん断ひび割れの発生も確認できなかった。

よって、本実験の荷重変動範囲ではスタラップの破断にもかかわらず梁断面はせん断に対して有効に機能しており、ASR劣化によるせん断耐荷力への影響については確認できなかった。

表2 上部工除荷時の主鉄筋ひずみ(μ)と理論値

	実測値①		RC理論健全主筋	①中/②	①外/②	
	中央	外縁	値②			
①断面	-36	-49	-355	-31	0.10	0.14
②断面	-53	-69	-410	-41	0.13	0.17
③断面	-75	-75	-411	-41	0.18	0.18
④断面	-37	-45	-317	-27	0.12	0.14

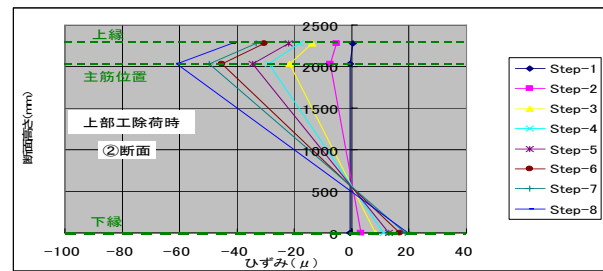


図2 ②断面でのコンクリート上下縁、主鉄筋ひずみ

[今後の課題]

本実験では、ASR劣化を生じた実橋脚に上部工死荷重以上の荷重変動での挙動を計測するとともに鉄筋破断やコンクリート内部のひび割れまで詳細な損傷状況を実験後の解体によって確認した。その結果設計荷重時の70%の荷重範囲でも梁の挙動には損傷の影響が明確には現れないという貴重な知見を得た。一方で、損傷による最大耐荷力の低下の程度(耐荷力余裕)など構造物の性能を評価する上で不可欠な大きな荷重領域での耐荷力特性については不明な点が残った。今後は、より大きな荷重領域での耐荷力特性について明らかにしていく必要がある。

[成果の発表]

本研究の成果は、国総研資料及び各種論文等で発表の予定である。

[成果の活用]

成果は、ASR損傷を生じた構造物の維持管理をするにあたっての健全度評価や補修補強の必要性の判断、補強設計において活用されるものである。

鋼道路構造物の性能評価に関する試験調査

Study on performance evaluation of steel highway structure

(研究期間 平成 17 年度)

道路橋研究部 道路構造物管理研究室 室長 玉越隆史

Road department, Bridge division Head Takashi Tamakoshii

主任研究官 小林 寛

主任研究官 中洲 啓太

研究官 石尾真理

Senior Researcher Yota Watanabe

Senior Researcher Keita Nakasu

Researcher Mari Ishio

Fatigue cracks in steel deck plate are found recently in Japan. In order to develop durability improving methods or effective inspection method for this damage, NILIM carried out analysis of actual damage data, calculation using FEM models that are changed structural details of steel deck and experimental studies on several types of inspection techniques.

[研究目的及び経緯]

近年、鋼床版のデッキプレートとウリブとの溶接部に生じた疲労損傷(以下、「デッキ貫通型損傷」という)事例が報告されるようになってきている。デッキ貫通型損傷が生じた場合には、目視点検での発見が困難であるばかりでなく、路面の陥没事故のような重大な被害を生じる可能性があり、それらの効果的な点検手法、新設時の耐久性向上策の確立が急務となっている。

平成 17 年度は、鋼床版のデッキ貫通型損傷に関する損傷事例の調査・分析、鋼床版の構造詳細が及ぼす影響に関する解析的検討、損傷を効果的に発見するための点検手法の検討を行うとともに、鋼部材の構造詳細の構造最適化に適した耐久性評価手法に関する検討を実施した。

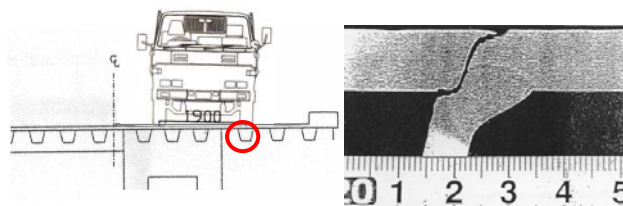


図-1 デッキ貫通型損傷

[研究内容と成果]

1. 損傷事例の分析

デッキ貫通型損傷の発生に影響を与える要因を把握するため、過年度の現地調査結果を用いて、鋼床版の疲労損傷の分析を行った。その結果、大型車交通量と供用年数をパラメータとして整理すると、図-2 に示すように疲労損傷を生じた橋梁が、あるしきい値を超える領域に存在していることを示した。

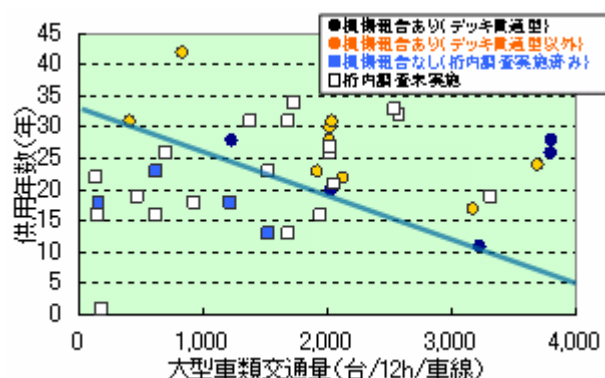


図-2 損傷と大型車交通量、供用年数との関係

2. 構造詳細の違いの影響に関する解析的検討

構造的な要因がデッキ貫通型損傷の発生に与える影響を分析するため、表-1 に示すようにデッキプレート厚、ウリブ厚などをパラメータとした解析を行い、各パラメータにおける鋼床版の応力性状を調査した。図-3 に解析モデルの概要を示す。

解析の結果、全ケースのデッキ上面の直応力を比較してみると、横リブ間隔やウリブ厚の変化の影響がわずかながら見られるものデッキ厚の変化の影響が最も顕著であること示された。

表-1 解析ケース

	横リブ間隔 (mm)	主桁間隔 (mm)	Webとウリブの間隔 (mm)	デッキ厚 (mm)	ウリブ厚 (mm)
ケース1 (標準)	2500	ウリブ5本分	200	12	各6、8
ケース2	3000	ウリブ5本分	200	12	
ケース3	1500	ウリブ5本分	200	12	
ケース4	2500	ウリブ4本分	200	12	
ケース5	2500	ウリブ6本分	200	12	
ケース6	2500	ウリブ5本分	200	14	
ケース7	2500	ウリブ5本分	300	12	

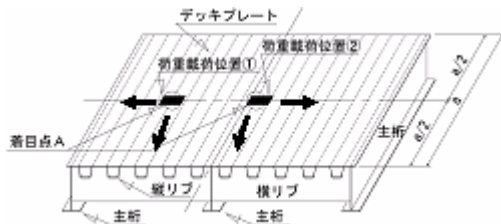


図-4 解析モデル

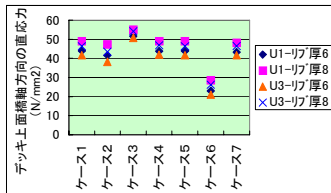


図-5 解析結果の例

3. 点検手法に関する調査

鋼床版のデッキ貫通型損傷は、Uリブの内側からデッキ方向に亀裂が進展するため、その発見が困難であり、早急に効果的な点検手法の確立が必要とされている。

① 舗装状態に着目したスクリーニング方法の検討

ここでは、路面性状から、簡易にデッキ貫通型損傷の疑いのある橋梁を抽出する方法について検討した。鋼床版デッキ貫通型の損傷を橋梁の舗装状態を調査した結果、橋面舗装の劣化が顕著になる傾向があることがわかった。そのため、舗装劣化の劣化状態に着目することにより、鋼床版に損傷を生じた疑いのある橋梁を抽出できる可能性があることが示された。



図-6 舗装に生じた変状の様子

② 各種非破壊検査の適用性

点検に用いる各種非破壊検査の適用性を確認するため、実橋および移動輪荷重載荷実験によりデッキ貫通型損傷が発生させた供試体を用いた実証試験を行った。

通常、疲労亀裂の検査に用いられる UT(超音波探傷試験)のみならず、デッキ貫通型損傷が生じた際に、Uリブ内に亀裂から進入した土砂や水が堆積する可能性があり、そうした物質の存在を打音検査や赤外線カメラを用いることにより、振動や温度変化の特性に影響が現れ、簡易に検出できる可能性がある。

検証の結果、打音検査や赤外線カメラを用いた検

査で、デッキ貫通亀裂により鋼床版内に土砂の堆積や滞水があった場合に、それらを検知する上での有用性が確認できた。特に、赤外線カメラを用いた検査の場合は、手が届かない様な箇所においても足場を設けることなく検査ができ有効と考えられる。

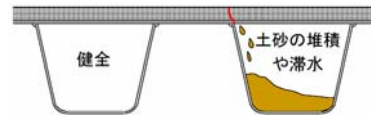


図-7 デッキ貫通型損傷に伴う堆積や滞水のイメージ

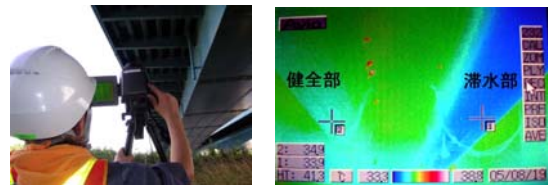


図-8 赤外線カメラを用いたデッキ貫通型亀裂の検査

③ 効果的な点検手法に関する検討

実地調査や供試体実験の結果から、デッキ貫通亀裂の疑いのある橋梁を効果的に発見するための、点検方法について検討した。点検のフローを図-9 に示す。
Step1 簡易調査では机上調査で選定された鋼床版橋梁に対して、橋面から（一部、路下からも含む）の主に目視による調査を行い、現地情報を収集する。次に、
Step2 詳細調査では、簡易調査（橋面舗装の損傷状況など）により、鋼床版の疲労損傷の発生のおそれがあると判断された鋼床版橋梁に対して、箱桁内面など鋼床版下面からの各種非破壊検査を行う。その後、**Step3** 路面切削により、デッキ貫通型損傷の有無を確認する。

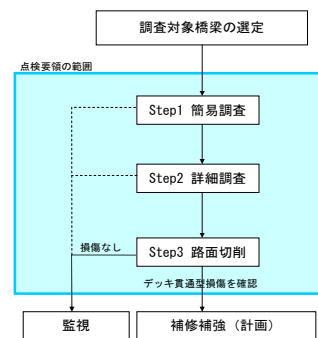


図-9 点検のフロー

[今後の課題]

今後は、点検手法についてとりまとめるとともに、鋼部材の疲労耐久性を定量的に評価できる設計手法の構築をつなげていく予定である。

[成果の活用]

ここでの成果は、鋼部材の疲労に対する耐久性向上策のガイドライン及び鋼床版デッキ貫通型損傷を対象とした点検要領(案)を作成するための基礎的資料となる。

道路構造物の安全係数に関する試験調査

Surveys on safety factors of highway structures

(研究期間 平成17年度)

道路研究部 道路構造物管理研究室
 Road department Bridge and Structures division
 主任研究官 渡辺 陽太
 Senior Researcher Youta Watanabe
 主任研究官 中洲 啓太
 Senior Researcher Keita Nakasu

室長 玉越 隆史
 Head Takashi Tamakoshi
 主任研究官 渡邊 良一
 Senior Researcher Ryouiti Watanabe
 研究員 武田 達也
 Research Engineer Tatsuya Takedai

In order to propose design loads of highway bridges based on safety factor method, it is necessary to explain characteristics of loads on bridges. In these surveys, fundamental study on traffic loads or impact factor of highway bridges using data on actual condition of traffic weight or response of bridge members collected by using bridge weigh in motion system.

[研究目的及び経緯]

現在、道路橋の設計基準は許容応力度設計法から部分係数設計法への転換が検討されており、各機関で、基準で考慮する荷重や材料、照査式の根拠データなどについてばらつきや信頼性等の分析が行われている。

平成17年度は、設計活荷重の改訂を視野に過去に計測された通行車両重量に関するデータの分析等の検討を行った。検討には、過去に研究室で開発した橋梁を用いた車両重量計測システム(以下、「WIM」という)で取得した実供用下での自動車荷重列のデータと当該橋梁で同時に計測された部材応答に関するデータを用いた。

[研究内容及び研究成果]

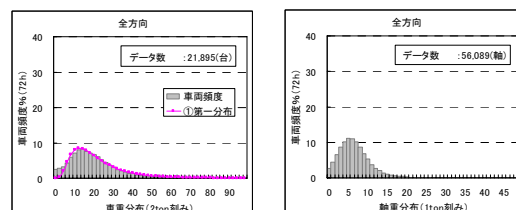
1. 設計活荷重に関する検討

(1) BWIM データを用いた自動車荷重列の作成

過去に計測した BWIM データから、大型車交通量、混入率などから交通特性が異なる以下の4橋のものを用いた。BWIM データは17車種に分類し、それぞれの重量区分—頻度分布に適合する関数を作成する。自動車荷重列はこれらの関数を元に車種混入比率を考慮して1車線分を発生させた。図-1, 2 に BWIM データの例を示す。

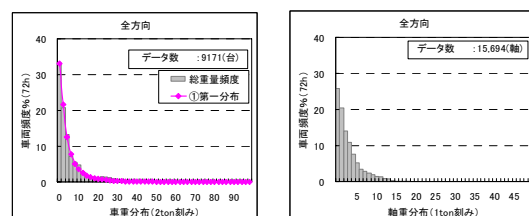
表-1 使用する BWIM データの一覧

区分	橋梁名称	大型車混入率
重交通	甲子橋	38.3
中交通	小山高架橋	29.3
	福岡橋	25.3
軽交通	蓮沼橋	9.8



(a) 総重量分布 (b) 軸重分布

図-1 BWIM データの例(甲子橋)



(a) 総重量分布 (b) 軸重分布

図-2 BWIM データの例(蓮沼橋)

(2) 外力作用としての自動車荷重強度の特性分析

道路橋の設計で自動車荷重を考慮する場合、着目する部材によってそれらに対して支配的な影響を及ぼす荷重列の配置は荷重範囲が異なってくる。したがってここでは表-2 に示すように橋面上に大きさが異なる領域を設定したケースについて、それぞれに対して発生させた荷重列がどのような荷重強度特性をもつのかを分析した。また、広い領域を設定したケースについて、表-3 に示すように大型車混入率などの交通特性をパラメータとした分析も実施した。

図-3 に領域長と荷重強度との関係、図-4, 5 に交通特性と荷重強度の関係を示す。それぞれ荷重強度の算出は最大値、3σ、平均値に対応するものを図示しているが、領域の大きさや交通特性によって荷重強度は大きく変化

し、特に最大値、3σ値、平均値の相関関係は領域の広さや大型車混入率に対して一様に変化していないことがわかる。今後は既存の設計基準との関係等の分析を行い、次期設計基準の活荷重の検討を進めていく。

表-2 検討ケース（領域の大きさに着目）

領域長 (m)	狭い領域	5, 7.5, 10, 12.5, 15
	広い領域	12.5, 25, 50, 100, 200, 500
車線数	1	
交通特性	車両特性	甲子橋のBWIMデータ
	大型車	60%

表-3 検討ケース（交通特性に着目）

領域長 (m)	狭い領域	—
	広い領域	50
交通特性	車両特性	表-1に示す4橋
	大型車	0, 20, 40, 60%

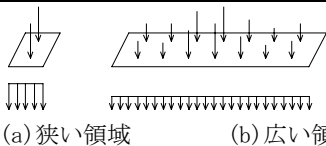
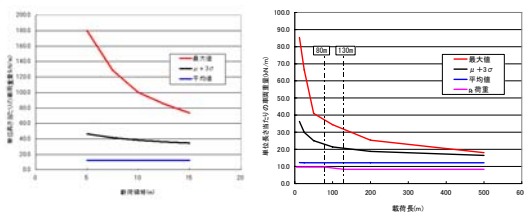
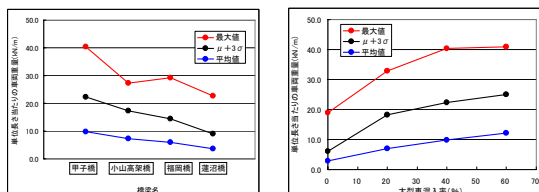


図-3 領域の大きさと荷重強度の関係



(a) 狭い領域 (b) 広い領域

図-4 領域長と荷重強度との関係



(a) 橋梁別 (b) 大型車混入率別

図-5 路線特性と荷重強度との関係

2. 衝撃荷重に関する検討

(1) 一般

本研究では、設計で考慮すべき自動車荷重による動的影響を検討するために、走行中の車両の動的軸重（以下、「動的軸重」という）のデータおよび、BWIMを用いて測定した通行車両の重量や速度などのデータ、橋梁部材側で計測される応答のデータから、動的軸重（入力側）と橋梁に生じる影響（応答側）の関係について基礎的な分析を行った。検討のフローを図-6に示す。

(2) 作用としての衝撃荷重の特性整理

図-7(a)は、橋梁区間を含む道路を大型車が走行速度40 kmで走行したときの動的軸重の頻度分布を路面性状と

車両の振動特性をパラメータとして示した例である。このように動的軸重に着目することにより、入力される衝撃荷重の基礎的な特性の傾向を明らかにできることを示した。

(3) 部材応答としての衝撃影響の特性整理

BWIMを用いた計測で20~30tfの大型車が通行したときの応答波形を用いて、橋梁各部の動的影響に関する傾向を分析した例を図-7(b)に示す。分析の結果、伸縮装置周辺の段差による衝撃が桁端部に大きな影響をおよぼしていること。また、主桁と比較して増設縦桁は動的変動倍率が大きいことなどが分かった。

今後は、橋梁で考慮すべき衝撃係数について、設計活荷重の検討と関連づけて検討を進めていく。

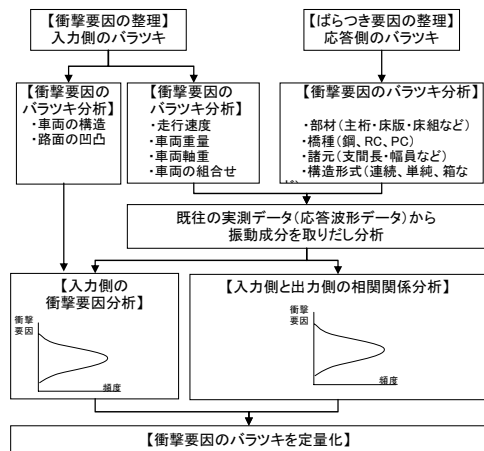
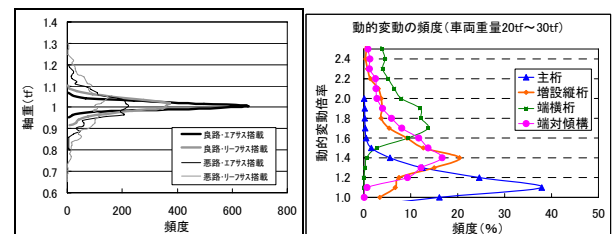


図-6 衝撃の検討フロー



(a) 入力側分析結果例 (b) 入力側と出力側分析結果例

図-7 衝撃のバラツキ分析の例

[今後の課題]

今後は、自動車荷重、衝撃荷重以外の荷重について、基礎的な特性に関する分析を進め、部分係数設計法の書式に対応した荷重体系の検討を進める。

[成果の発表]

成果の発表については、国総研資料及び各種論文等で発表の予定である。

[成果の活用]

成果は、部分係数設計法の書式への対応を目指す道路橋示方書の改訂作業に反映される。

乗用車専用道路の設計荷重に関する試験調査

Study on design loads for small-sized vehicle-only roads

(研究期間 平成 17 年度)

道路橋研究部 道路構造物管理研究室 室長 玉越隆史
 Road department, Bridge division Head Takashi Tamakoshii
 主任研究官 小林 寛 主任研究官 中洲 啓太 研究官 石尾真理
 Senior Researcher Hiroshi Kobayashi Senior Researcher Keita Nakasu Researcher Mari Ishio

Small-sized vehicle-only road was proposed intended to reduce construction cost of highway bridges, and NILIM set design loads for Small-sized vehicle-only bridges. However, to enhance the effectiveness of small-sized vehicle-only bridges, reconsiderations of experiential regulations such as minimum thickness of concrete slab are required. In this study, structural details of various types of slabs were investigated.

[研究目的及び経緯]

平成 15 年度 7 月道路構造令が改正され、小型道路（乗用車専用道路）に関する要綱が盛り込まれ、本研究室では、過年度の検討により、小型道路用橋梁の設計活荷重を図-1 のように提案している。この荷重を用いることで、現行の道路橋示方書における設計活荷重に準じて、耐荷力に対する安全性照査を行い、小型道路用橋梁を設計することができる。しかしながら、現行道路橋示方書において荷重の繰返しなどによる疲労耐久性の照査は、構造寸法規定などで安全性を確保しており、小型車専用道路の設計活荷重を規定しても、この構造寸法規定のために断面寸法が小さくならないものがあり、コスト縮減に寄与しない。

よって、小型車専用道を採用する場合に、これらの構造寸法規定を見直すことでよりコスト縮減効果を上げることができると考えられる。特に床版では構造寸法の規定が多い部材であることから、本研究は床版に着目し、普通道路用に現行道路橋示方書で規定されている床版と同等の安全性を有する合理的な小型車専用

道路用の床版の規定の可能性に関して研究を行った。

[研究内容と成果]

1. 小型車専用道路用の床版の検討

(1) 検討方針

検討は小型車専用道路用の床版の耐荷性、耐久性が普通道路用（現行道路橋示方書に規定されている）床版と同等であることを、両者の各材料に発生する応力度により評価することで行った。着目した応力度は、各材料の主応力、直応力、せん断応力、およびそれら最大値最小値および移動荷重による振幅量とした。対象とした床版は小型車として今後採用される可能性の高い、鋼コンクリート合成床版（以下、「合成床版」）、および鋼床版とした。また、小型道路用床版は構造が簡素化される可能性が高く、特にコンクリート系床版の場合版厚が薄くなる可能性が高い。よって、版厚が薄くなった場合の影響を輪荷重走行試験により確認した。

(2) 合成床版の構造検討

現在、一般の合成床版は、製造業者により、その構造は異なるが基本的には下鋼板とコンクリートが一体化された構造が最も多い。よって、今回はコンクリートと下鋼板が一体化された構造のみに関してモデル床版を仮定し、移動荷重を考慮する立体 FEM 解析にて、構成する材料に発生する応力を算出し、普通車道床版の B 活荷重のケースと、荷重および構造を小さくしたケースとで対比較を行った。B 活荷重を載荷する床版は、過去に土研で輪荷重移動載荷試験を行ったもの

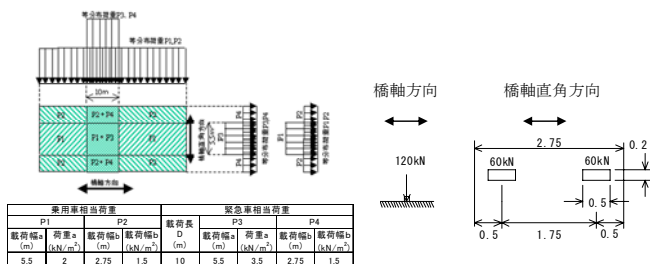


図-1 小型道路の設計活荷重

を参考に、コンクリート厚 180mm、下鋼板厚 8mm とし、検討モデル床版はそれよりコンクリート厚が小さいものとした。解析モデル図の例を図-3 に、検討ケースと解析結果の例を表-1 に示す。

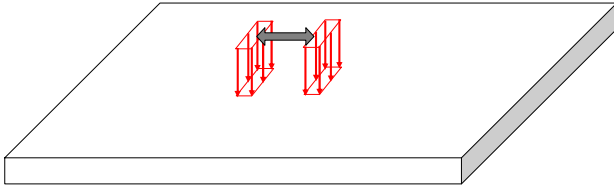


図-2 解析モデル図（鋼コンクリート合成床版）

表-1 鋼コンクリート合成床版の検討結果

項目		B活荷重	床版厚A	床版厚B	床版厚C	
輪荷重 (kN)		100	60	60	60	
コンクリート厚 (mm)		180	160	140	120	
下鋼板厚 (mm)		8	8	8	8	
下鋼板 応力状況	死荷重	橋軸方向 (N/mm ²)	0.163	0.174	0.186	0.202
		直角方向 (N/mm ²)	0.479	0.509	0.546	0.593
	活荷重	橋軸方向 (N/mm ²)	7.121	5.085	6.213	7.777
		直角方向 (N/mm ²)	6.760	4.805	5.844	7.322
	合計	橋軸方向 (N/mm ²)	7.284	5.259	6.399	7.979
		直角方向 (N/mm ²)	7.239	5.314	6.390	7.915
コン クリ ート	死荷重	主応力 (N/mm ²)	0.262	0.272	0.284	0.296
		せん断応力 (N/mm ²)	0.479	0.509	0.546	0.593
	活荷重	主応力 (N/mm ²)	4.053	2.871	3.463	4.266
		せん断応力 (N/mm ²)	0.236	0.166	0.199	0.242
	合計	主応力 (N/mm ²)	4.315	3.143	3.747	4.562
		せん断応力 (N/mm ²)	0.715	0.675	0.745	0.835
活荷重たわみ量(mm ²)		0.323	0.261	0.388	0.578	

今回の解析結果から、普通道路用床版と同等な合成床版は、床版 A(コンクリート厚 160mm、下鋼板厚 8mm)であり、大幅な版厚の縮小は望めないことがわかった。しかしながら、普通道路用床版と比較し小型車道路床版を評価できることがわかった。

(3) 鋼床版の構造検討

鋼床版でも同様に、普通道路用（現行道示の規定に準じた）鋼床版構造を基本ケースとし、縦リブ配置および横リブ配置等を変更した場合の各部位に発生する応力量を相対評価することで、小型車道路用床版として構造の簡素化を検討した。なお、今回の検討では近年、鋼床版における疲労損傷事例が報告されているため、デッキプレート厚の変更およびリブの採用は検討条件から除外している。

検討ケースと解析結果の例を表-2 に示す。表-2 は FSM 解析結果の例であるが、普通道路用床版と同様の応力量（最大、最小値、振幅量）を条件とするとデッキプレート厚などを変更しないために大幅な構造の簡素化は望めないが、合成床版と同様、このような方法で相対的に小型道路用床版を評価できることがわかった。

表-2 鋼床版の検討結果

項目		B活荷重	小型車ケース1	小型車ケース2	小型車ケース3		
輪荷重		100 kN	60 kN	60 kN	60 kN		
縦リブ間隔		300 mm	450 mm	540 mm	450 mm		
横リブ間隔		1900 mm	1900 mm	1900 mm	2700 mm		
横リブ支間		2700 mm	2700 mm	2700 mm	2700 mm		
デッキPL厚		12 mm	12 mm	12 mm	12 mm		
縦 リ ブ	断面形状	デッキ	215 × 12	272 × 12	299 × 12	316 × 12	
		バルブ	180 × 9.5 × 23	180 × 9.5 × 23	180 × 9.5 × 23	180 × 9.5 × 23	
	変位	δ _d	0.038 mm	0.042 mm	0.040 mm	0.074 mm	
		δ _L	0.954 mm	0.663 mm	0.814 mm	1.481 mm	
		δ	0.993 mm	0.704 mm	0.855 mm	1.554 mm	
	断面力	M _{max}	15.964 kN·m	13.136 kN·m	17.072 kN·m	18.429 kN·m	
		M _{min}	-2.143 kN·m	-2.724 kN·m	-4.443 kN·m	-4.241 kN·m	
	応 力 度	M _{max}	σ _u	-42.4 N/mm ²	-28.9 N/mm ²	-34.7 N/mm ²	-35.9 N/mm ²
			σ _i	103.2 N/mm ²	83.0 N/mm ²	106.9 N/mm ²	114.9 N/mm ²
		M _{min}	σ _u	5.7 N/mm ²	6.0 N/mm ²	9.0 N/mm ²	8.3 N/mm ²
			σ _i	-13.8 N/mm ²	-17.2 N/mm ²	-27.8 N/mm ²	-26.4 N/mm ²
		縦リブ母材(疲労)	σ _u	-19.2 N/mm ²	-14.4 N/mm ²	-14.4 N/mm ²	-17.8 N/mm ²
σ _i			46.7 N/mm ²	41.5 N/mm ²	44.2 N/mm ²	57.0 N/mm ²	
連続すみ肉溶接部		-15.1 N/mm ²	-10.9 N/mm ²	-10.7 N/mm ²	-13.1 N/mm ²		

(4) コンクリート床版の移動輪荷重載荷実験

コンクリート床版に関しては、図-1 の設計活荷重を用いた耐荷力設計した供試体を用いて、移動輪荷重載荷試験を実施し、繰り返し荷重による破壊の形態に関する知見を得た。実験条件を表-3 に、実験結果を図-2 に示す。

表-3 移動輪荷重載荷実験条件

	1体目	2体目
供試体寸法(mm)	2800 × 4500 × 170	2800 × 4500 × 170
上側主鉄筋	D19ctc150	D19ctc150
上側配力筋	D13ctc300	D13ctc300
下側配力筋	D16ctc150	D16ctc150
下側主鉄筋	D19ctc150	D19ctc150
コンクリート実圧縮強度(N/mm ²)	28.26	29.74
コンクリート実引張強度(N/mm ²)	2.37	2.45
実ヤング係数(N/mm ²)	29.35	30.97
ポアソン比	0.209	0.206
載荷荷重	1 ~ 45000回 : 80kN	1 ~ 30000回 : 120kN
	45000 ~ 175000回 : 100kN	30000 ~ 350000回 : 140kN
	175000 ~ 250000回 : 120kN	

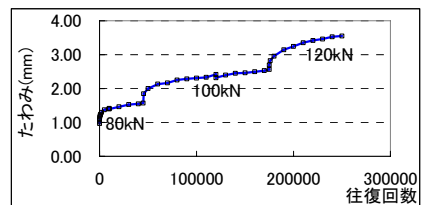


図-2 移動輪荷重載荷実験結果（1体目）

[研究成果]

以上のことから、提案した小型道路用設計荷重を用いて、構造合理化の可能性、及び、耐荷性・耐久性を評価する上で着目すべき応力を整理することができた。

[今後の課題]

今後は、小型道路用橋梁の要求すべき耐荷性・耐久性に必要な応力水準を明確にし、より合理的な小型道路用橋梁の設計基準を構築していく。

[成果の活用]

ここでの成果は、道路橋示方書をはじめとする各種基準に反映する。

道路構造物の軸重緩和に関する試験調査

Surveys on axle load on highway structures

(研究期間 平成 17 年度)

道路研究部 道路構造物管理研究室 室長 玉越 隆史
 Road department Bridge and Structures division Head Takashi TAMAKOSHI
 主任研究官 小林 寛 主任研究官 中洲 啓太
 Senior Researcher Hiroshi KOBAYASHI Senior Researcher Keita NAKASU

In order to ease fatigue of drivers or damage of cargo, the number of vehicles equipped with air-suspension is increasing in these days. However, there are few reports on dynamic response of bridges caused by large-sized trailers except for international marine container. To clarify fundamental characteristics of dynamic effects of large-sized trailers, NILIM carried out surveys using several types of tractors with trailers.

[研究目的及び経緯]

近年、乗員の疲労や積荷の損傷を軽減するため、車体と車軸との間にエアサスペンション(以下、「エアサス」という)を搭載した車両が増加している。国総研では、橋梁をはじめとする道路構造物の保全と活用の両立を図るため、サスペンション特性の異なる大型車が道路橋に及ぼす影響に関する調査を行い、その基礎的特性を明らかにするとともに、ISO 規格海上コンテナ搭載トレーラの駆動軸重緩和といった施策に成果を反映させている。しかしながら、トレーラを牽引する形式の車両は、振動特性が複雑な上に構造が多様であるため、動的挙動に関して未解明な点が多い。

平成 17 年度は、セミトレーラの構造諸元と道路橋に及ぼす動的影響との関係を明らかにするため、実車走行試験を中心とした試験調査を実施した。

[研究内容と成果]

(1)調査の概要

海コン形式以外の多様なセミトレーラについて、トラクタ駆動軸が道路構造物に与える影響を明らかにすることを目的として、試験は、動的影響への寄与度が高いと考えられるトレーラの長さ、重心位置、車体剛性の3つをパラメータとした実車走行試験等を実施した。表-1 に試験ケースを示す。



図-1 セミトレーラの概略

表-1 試験ケース

ケース番号	トレーラ長 (m)	フレーム剛性 (m ⁴)	サスペンション形式	積載条件
1	9.1 (長め)	19,539 (固め)	リーフサス	標準
2				前方
3				後方
4			エアサス	標準
5	前方			
6	7.5 (短め)	6,982 (柔め)	リーフサス	標準
7				後方
8			エアサス	標準

(2)道路走行試験

トラクタの駆動軸が、路面に及ぼす動的荷重を直接的に評価するため、図-2 に示す国総研構内の試験走路およびその外周路からなる約 20 km のコースを走行させ、走行中のトラクタの駆動軸を連続的に測定した。

図-3 に動的軸重の最大値の比較結果を示す。エアサス軸における動的軸重の最大値は、リーフサス軸よりも低減される傾向にあるが、低減量は、平成 14 年度に実施した国際海上コンテナ用トレーラの試験結果と比較すると小さくなっている。

図-4 には、道路走行中の動的軸重波形を周波数分析した結果を示す。これらより、道路走行中の車両の振動特性は、車両条件(例えばトレーラの重心位置)によって変化が見られ、駆動軸のサスペンション以外のトレーラ部の振動の影響がみられた。また、車両の振動特性に関する詳細な分析を行った結果、条件によっては、サスペンションバネ以外のトレーラ部のピッチング振動、曲げ振動などの影響が見られた。

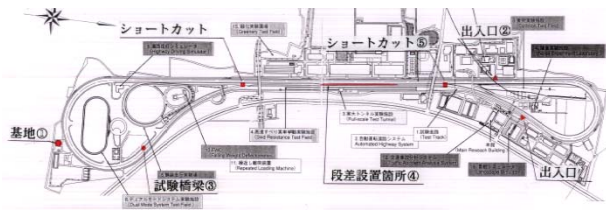


図-2 道路走行試験

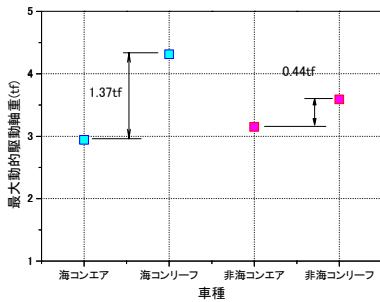
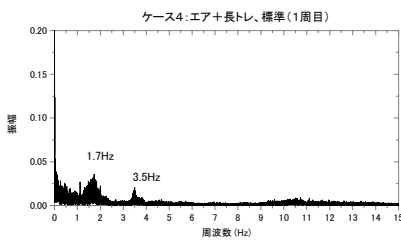
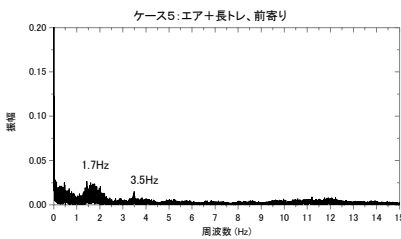


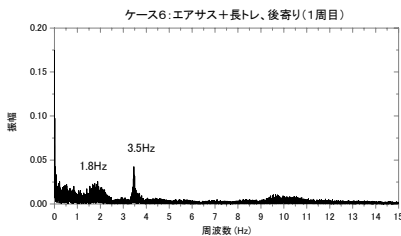
図-3 動的軸重の最大値の比較



(a) ケース 4 (エア・標準積載)



(b) ケース 5 (エア・前方積載)



(c) ケース 6 (エア・後方積載)

図-4 道路走行時の動的軸重波形の周波数分析結果

(3) 振動特性の評価手法に関する検討

図-5 に示すようなセミトレーラを模した一自由度の振動モデルを作成し、車両の振動特性をこのような単純なモデルで説明できるかどうかの検討を行った。

図-6 は、一自由度の振動モデルによる計算結果と実験結果とをプロットしたものである。図-6 によると、一自由度の振動モデルを用いた場合、条件によっては、算定の精度が低下する可能性がある。振動特性の評価にあたっては、サスペンションバネ以外の振動の影響も無視できない可能性があることが示された。

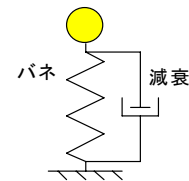
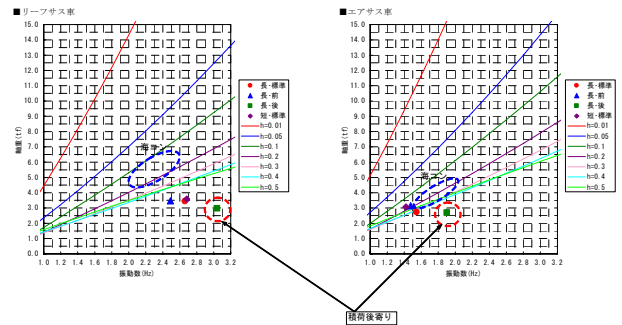


図-5 一自由度モデル



(a) リーフサス

(b) エアサス

図-7 解析結果と実験結果の比較

【成果の発表】

1) 中洲啓太、玉越隆史、石尾真理：セミトレーラの構造諸元が道路橋に及ぼす影響に関する基礎的調査、第 60 回土木学会年次学術講演会、2005. 9

【成果の活用】

大型車が道路構造物に及ぼす影響の評価手法を検討することにより、道路構造物の活用と保全の両立を目指す道路行政施策に活用される。

海外における山岳トンネルの技術基準と発注方式に関する調査

Survey of Technical Standards and Ordering Methods for Mountain Tunnels in Foreign Countries

(研究期間 平成 17 年度)

道路研究部 道路構造物管理研究室

Road department Bridge and Structures division

主任研究官 堀内 浩三郎

Senior Researcher Kozaburo HORIUCHI

研究官 石尾 真理

Researcher Mari ISHIO

室長

Head

主任研究官

Senior Researcher

玉越 隆史

Takashi TAMAKOSHI

小林 寛

Hiroshi KOBAYASHI

The purpose of the survey is to clarify concepts of foreign performance standards and ordering methods by investigating design standards and maintenance standards in foreign countries, and in addition, to reflect these in concepts of the ordering and maintenance of tunnel structures in Japan by surveying the present state of maintenance

[研究目的及び経緯]

現在、構造物の設計には性能規定による考え方が取り入れられる方向にあるが、トンネル構造に対しては、作用する荷重が不明確であることや、構造の耐久性の検討が現段階では進んでおらず、性能規定を即座に導入するには課題が多い。また、性能規定を導入する場合には、我が国の現行で採用されている発注の形式も異なることが予想される。

一方、我が国では道路トンネル維持管理便覧の改訂が平成 19 年度を目途に予定され、また道路トンネル技術基準の改訂も技術の動向に応じて実施されていることから、性能規定や発注形式に関する考え方を整理しておくことが望ましいと考える。

本調査は、海外における設計基準・維持管理基準等を調査することにより、海外における性能規定や発注形式に関する考え方を明らかにすることに加え、維持管理の現況の調査を行い、我が国のトンネル構造物の発注や管理に関する考え方へ反映させることを目的とする。

[研究内容と成果]

(1) 海外における道路トンネル整備状況

欧米各国の道路トンネルの本数と総延長を表-1 に示す。日本は急峻な国土に密な交通ネットワークを確保しなければならない特殊事情もあり、他国に比べても本数、延長とも非常に大きな数字を示している。工事の年間概算掘削量(過去 10 年)で比較しても、日本：約 2000 万³/年、ドイツ：約 260 万³/年、スイス：

135 万³/年、ノルウェー：220 万³/年であり、ここでも日本は 1 桁大きい値を示す。

表-1 欧州各国の道路トンネルの本数と延長

国名	道路トンネル本数(本)	総延長(平均長)	出典
ドイツ	165(国道のみ)	131km(792m)	COST345 WG1 report, EC
イタリア	500(山岳トンネル)		PIARC:C11 The World Road Association
フランス	406(うち山岳トンネル 222)	255km(628m)	COST345 WG1 report, EC
オーストリア	320	287km(897m)	COST345 WG1 report, EC
日本	8820	3019km(350m)	道路統計年報(2003.4)

(2) 道路トンネルの技術基準体系の概略

表-2 に各国のトンネル技術基準の概要を示す。国レベルの明確な技術基準を有している国は少なく、米国では州の指針をもとに各管理者が独自のガイドラインを持っているだけである。欧州においても EC で安全性の共通目標を掲げた指令が発効されているものの、具体の記述には至っていない。プロジェクトごとに安全性等を独自に検証し設計を行っているのが実態である。

今後、トンネル構造に関しては、我が国を含め、性能規定化への対応が考えられるが、トンネルに作用する荷重の設定などが困難であることから構造の性能規定化は即座には難しいと考えられている。しかしながら道路としての施設や付帯設備、機械類等は性能規定が可能であり、一部の国において付帯設備等の性能規定を実施しているところもある。

表-2 各国のトンネル技術基準

国名	基準名	目的	適用	構成
日本	道路トンネル技術基準（平成元年建設省都市局長、道路局長通達）	道路トンネルの整備に関する一般的技術的基準を定め、その合理的な建設および維持管理を行うための基準	道路法の道路に道路管理者が主として山岳トンネル工法により建設する道路トンネルに適用	総則、計画、調査、設計、施工、換気、維持・修繕
欧州	European Directive, 2004-5, EC	達成すべき安全性についての共通の目標を示したもの	欧州道路網における500m以上の全トンネル	構造、証明、換気、給水栓、コントロールセンター等の安全関連設備
ドイツ	ZTV - ING Part5, BASt, 2003.1		山岳トンネルのみ適用	一般、調査、維持管理、対策、材料、耐水・耐火、補強、記録など
フランス	French Circulaire interministerielles 2000-63（勸告書）		基準の採用については知事・管理者が判断	
米国	国レベルの基準なし 州の指針類（local Building Code）		各管理者がガイドラインを参考に作成。自らの管理範囲に適用	専門分野ごとのガイドラインによる

(3) 道路トンネルの維持管理基準

表-3 に日欧米の維持管理基準の概要を示す。2～5年に1度目視を主体とした点検を行っており、安全性等の観点から段階評価を行い、補修補強計画へ活かしている。

表-3 トンネルの維持管理基準の整理

国名	根拠となる維持管理・点検基準	点検項目・頻度	点検結果の評価	補修の観点
ドイツ	DIN1076 （道路の維持管理点検に関する基準）、独規格協会	通常点検：4回/年 特別点検：1回/年	安全性、使用性、耐久性3項目に1～4で評価。6段階の総合評価	補修、補強、その他対策を総合評価にもとづいてきめる
フランス	Documents Techniques et Logiciels, CETU	管理事務所による簡易点検：1回/年 専門家による詳細点検：5年に1回（国道）	IQOA 評価（5段階評価）	
米国	Tunnel inspection manual, FHWA, 2003	新設：5年に1回 既設：2年に1回程度	補修の必要性、通行可否等から10段階評価	補修案の優先度による 緊急補修 優先度つき補修 定期補修
日本	道路トンネル維持管理便覧	定期点検：5年に1回	変状による安全性の程度により4段階評価	変状評価とトンネル重要性を総合的に判断し工法を選定

(4) 道路トンネルの発注形式

トンネル構造の設計の大きな特徴は、外力が比較的明らかな他の構造物と異なり、施工をして初めて地山条件やそれに伴う外力条件が明確になり設計が確定することにある。これは、B/C等も鑑みるとトンネル計画時に設計に必要な地形・地質の状況がトンネルの全延長にわたって設計を確定できるような高精度の

地質調査が困難なことによる。また、掘削に伴いトンネルに作用する土圧は複雑で地山条件に応じて概念的にしか解明できず支保構造部材の設計法も確立していないため、トンネル構造の設計は都市部のトンネルや特殊な地山条件のトンネルを除き、経験と実績による実用的な設計を行っている。このため、我が国では、当初設計は暫定的なものとし、施工後に必要に応じて当初設計の見直しを実施している。

一方、欧米ではこれらの不確定要素への対応について、一般には工事保険等によりリスクを移転しているが、その他対応について以下に示す。

①設計担当機関による違い

詳細設計⇒1)発注者 or 2)施工業者

1)の場合は、変更要因が生じた場合は、発注者責任

2)の場合は、変更要因が生じた場合は、施工業者リスク負担

②契約方式（総価契約 or 単価契約）による違い

総価契約：プロジェクトの成果に対して契約。したがって、原則契約額の変更はなし

単価契約：プロジェクトを構成する工種に対しての施工条件や単価を約束。数量の変更や新規工種についての変更は生じる。その場合は一般に発注者側のリスクとなる。

③予備費の設定

地質調査はコスト的にも技術的にも十分に遂行することは不可能であり、そのため地質が大きな設計要因となるトンネル工事においてはある程度の変更が避けられない。このため、予備費という概念が存在する。最近では、発注受注者双方が協議をしてあらかじめ予備費を含んだ目標額を設定し、最終工事費との差額を利益として折半する「パートナーリング」といった制度が注目されており、英国の鉄道トンネル工事（ユーロトンネル～英国側陸地部）等では実際に運用されている。

④紛争仲裁委員会

予期せぬ地質等の原因によりリスク負担の所在について、裁判を起こすことが欧米では多く存在する。その場合は紛争調整委員会を開催し、解決を図るがプロジェクトの完成が遅れることになるので、発注者が工期においてリスクを負うことが多い。

[成果の活用]

研究成果は、我が国の道路トンネルの維持管理戦略（道路トンネル維持管理便覧改訂）および性能評価を前提とした道路トンネルの整備計画立案のための基礎資料として反映。