

# 道路橋点検体系の合理化・標準化・高度化に関する調査検討

## Study on rationalization, standardization and advancement of inspection system for highway bridges

(研究期間 平成 21 年度～23 年度)

道路研究部 道路構造物管理研究室

Road Department, Bridge and Structures Division

室長

Head

主任研究官

Senior Researcher

研究官

Researcher

玉越 隆史

Takashi Tamakoshi

大久保 雅憲

Masanori Okubo

横井 芳輝

Yoshiteru Yokoi

In order to assess the states of highway bridges including bridges managed by the local governments from the unified viewpoints effectively, NILIM conducted a study towards formulation of rational periodic inspection manual commonly used by the road administrators.

### 〔研究目的及び経緯〕

我が国の道路橋は、これまでに蓄積されてきたストックのうち、高齢化したものの割合が急速に増加しつつあるという課題に直面している。このため、施設の状態を定期的に点検・診断し、異常が認められる際には致命的欠陥が発現する前に速やかに対策を講じ、ライフサイクルコストの削減を図る「予防保全」の考えに立った、戦略的な維持管理・更新を実施していく（平成 21 年 3 月 31 日閣議決定）ことが重要である。そのためにデータに基づく科学的な維持管理を実現し、更には、道路管理者の枠を超えて、全国に形成された道路ネットワークとしての機能を維持、向上させていくことも重要である。

直轄の道路橋は、橋梁定期点検要領(案)（平成 16 年 3 月、国道・防災課）に基づき、供用後 2 年以内の初回点検、その後は 5 年間隔で実施される。一方、地方公共団体（以下「地公体」という。）においては、定期点検の必要性を認識しつつも予算や人員の制約から、点検が行われていない団体もある。

これらを踏まえ、本研究では、地公体が管理する橋梁を含む全国の道路橋の状態を統一的な観点で、かつ、効率的に把握するとともに、地公体の点検導入を促し、将来の維持管理の合理化・高度化に資することを目的として、各道路管理者間に共通して適用される合理的な定期点検要領の策定に向けた検討を実施した。

### 〔研究内容〕

本研究では、これまで、直轄道路橋の定期点検により、近接目視で網羅的に取得されてきた約 23 千橋の点検データを基に、構造形式、部位、架橋環境などの条件毎の損傷の発生状況や進行速度などに着目した傾向や特徴の分析を行ってきた。今年度は、これらに加え

て、初期品質の影響把握のための分析、更に、多変量解析を用いて損傷要因を抽出するとともに、一部の地公体管理道路橋の損傷の特徴を把握し、直轄道路橋と比較した。

### 〔研究成果〕

#### 1. 初期損傷の特徴

供用後 2 年以内の初回点検と全点検それぞれに対する損傷種類別の損傷率を、主な損傷とそれが発生する主な部位について、積算棒グラフとして図-1 に示す。なお、初期損傷とは初回点検で発見された損傷を、

- ・ 損傷率 = 損傷ありの径間数 / 全径間数
- ・ 伸び損傷率 = 全点検の損傷率 - 初期損傷率

である。損傷の特徴は、大きく 3 タイプに区分された。初期損傷率が小さく、その後の経年により損傷率が増加するものとして、腐食、剥離・鉄筋露出。初期損傷率がやや高く、その後の経年により損傷率が増加するものとして、防食機能の劣化。初期損傷率は高いものの、その後の経年による増加は少ないものとして、ひ

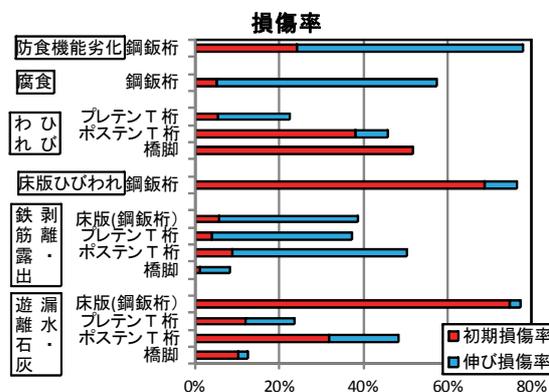


図-1 初回点検及び全点検での損傷発生状況

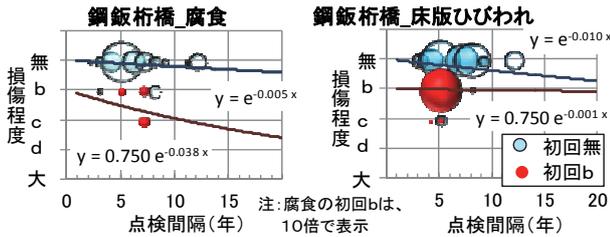
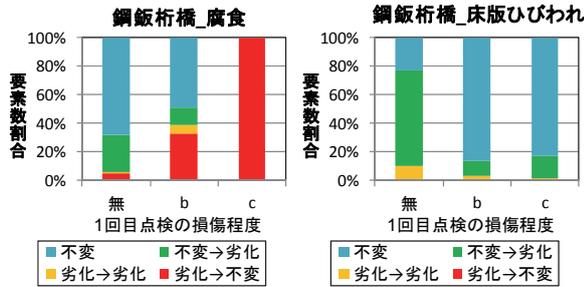


図-2 初期損傷の有無別損傷進行状況



注：凡例は、1回目点検→2回目点検→3回目点検の損傷程度の進行を示す。

図-3 3回の点検における損傷進行状況

びわれ、床版ひびわれ、漏水・遊離石灰である。

図-2に、腐食と床版ひびわれについて、初期損傷の有無別の損傷進行状況を示す。経年により損傷率が増加していた腐食では、初期損傷あり(初回 b)の方がその後の進行は早く、一方、経年による損傷率の増加が少ない床版ひびわれでは、初期損傷があってもその後はほとんど進行していない結果であった。

ここで、初回点検に限らず、3回の点検結果を用いて、この2つの損傷の進行状況を確認した結果を、図-3に示す。腐食では、損傷程度が悪化しているほど「劣化→不変」の割合が増加するのに対して、床版ひびわれではこれはほとんどなく、損傷程度がb又はcになるとその後は「不変」が多くを占める結果であった。ただし、更に劣化するものが約2割弱を占めていることを、管理上無視してはならない。

以上からは、腐食を代表とする経年劣化する損傷に対しては、損傷の初期に対処する。床版ひびわれを代表とする初期損傷の発生率が高い損傷に対しては、初期損傷の発生を抑制する、又は初期損傷に早期に対処する。これらが行われれば、予防保全に有効に寄与する可能性があることを示唆していると考えられる。

## 2. 損傷発生・進行の要因

損傷要因を漏れなく抽出することを意図し、維持管理に係わる各種因子を説明変数に用いて重回帰分析を実施した。なお、複数の説明変数同士は無相関という仮定が一般的ではあるものの、係数の値を求めることよりも相関の有無把握を第一と考え、データのあるあらゆる因子を考慮した。結果を、表-1に示す。影響度最高の要因として、設計基準や構造形式に加え、地域(降水量、気温)が抽出された。地域別の劣化曲線を、腐食を代表例として図-4に示す。適切な同一の属性で

表-1 重回帰分析による損傷への主要因の影響度

損傷	鋼主桁、腐食	主桁、ひびわれ	床版ひびわれ	下部工ひびわれ
設計基準	○	◎	◎	◎
地域(降水量、気温)	◎	◎	△	◎
構造形式	◎	◎	△	—
塩害地域区分	◎	△	×	△
橋長	△	△	—	◎
遮音壁有無	×	×	○	—
塗装系	○	—	—	—
交通量	—	—	×	△

影響度：◎…最高、○…高、△…中、×…低、—…無関係

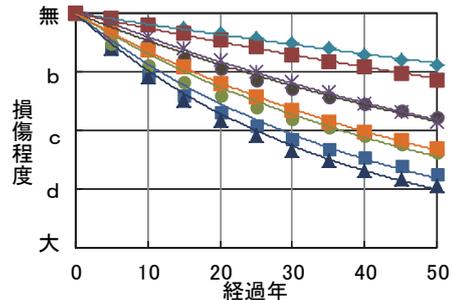


図-4 地域別劣化曲線(鋼鉄桁橋、腐食)

劣化予測することの重要性を示す1例である。

## 3. 地公体管理道路橋の損傷の特徴

地公体が管理する道路橋の主な損傷の発生状況について、同地域にある直轄事務所管理の道路橋と比較して図-5に示す。地公体は、各直轄事務所から任意に1市町村程度を抽出した合計約1,000橋である。地公体では、直轄と比較し、点検レベル(近接程度)の違いはあるものの、腐食及び支承の機能障害の程度がやや悪く、その他の損傷においては、直轄道路橋との大きな差異は見られない、又はより良好である。腐食と支承に関しては、維持管理レベルの違いの影響が考えられる。

以上からは、道路管理者による差が全てでないことから、直轄の点検要領や本分析結果などは、地公体での管理においても参考となる重要な情報になるものと考えている。

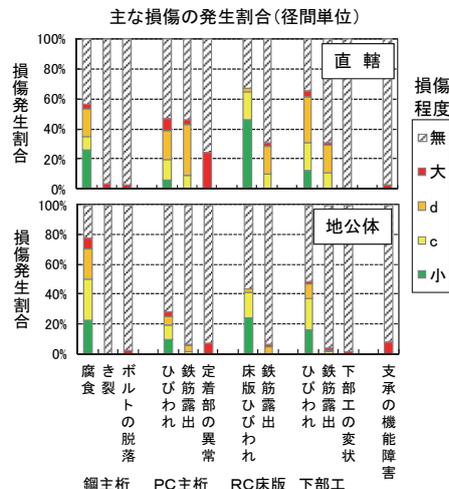


図-5 直轄道路橋と地公体管理道路橋の損傷状況

[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]  
定期点検要領(案)の改訂等に反映。

# 道路橋の将来状態予測手法及び道路構造物群の機能状態評価手法 に関する調査検討

Study on prediction method for future states of bridges and evaluation method for road structure states  
(研究期間 平成 21～23 年度)

道路研究部 道路構造物管理研究室  
Road Department, Bridge and Structures Division

室長  
Head  
主任研究官  
Senior Researcher  
研究官  
Researcher

玉越 隆史  
Takashi Tamakoshi  
大久保 雅憲  
Masanori Okubo  
横井 芳輝  
Yoshiteru Yokoi

Road networks consist of road structures such as bridges, tunnels, earthworks, and pavements. Recently, as new structures are constructed based on standards focused on performance for specific function, existing structures also attempt to be managed rationally, focused on the performance states of the function. In the future, road structures also should be maintained and managed rationally in harmony with the whole road networks as well as the performance for each road structure. Based on the situations, NILIM studied on the performance index calculated considering the road networks.

## [研究目的及び経緯]

### 1. 橋梁の将来状態予測手法

道路橋の予防保全を実現し、ライフサイクルコスト（以下「LCC」という。）の縮減と長寿命化を実現するためには、劣化予測に基づく適切な時期の適切な対処が重要である。しかし、個々の橋が置かれる架橋環境は様々であることなどから劣化傾向は一様でなく、確定的な劣化予測の精度には限界がある。また、それに基づき算出したLCCには少なくないバラツキが含まれているものである。本研究では、不確実性が将来予測の精度に及ぼす影響を明確にする検討を行った。

### 2. 道路構造物群の性能指標

道路ネットワークは、橋梁、トンネル、土工構造物、舗装の道路構造物群から成り立っている。近年、新設構造物では特定の機能における性能に着目した基準に基づく整備が進められつつあり、既設構造物に対しても機能の性能状態に着目して合理的に管理しようとする検討が進められている。道路構造物も将来的には、各構造物の個々の性能のみならず、道路ネットワークとの関わりの中でその性能を評価して、全体として調和のとれた合理的な整備や管理を行うことが必要と考えられる。こうした状況を踏まえ、道路ネットワークの観点から求めた性能指標に関する検討を行った。

## [研究内容]

### 1. 橋梁の将来状態予測手法

道路橋の予防保全の適切な実施時期を合理的に設定する際の一つの判断材料を高精度で得るため、過年度

までに実施してきたマルコフ遷移による劣化予測に橋年齢を考慮する手法、また、マルコフ遷移による劣化予測に基づくLCCに推定の信頼性を考慮する手法を検討した。更に、過年度までに開発した、損傷に伴う性能状態を構造物の種類を問わず共通の視点で評価する指標を用いて、橋梁の将来状態を予測した。

### 2. 道路構造物群の性能指標

平成23年3月の東日本大震災では、津波による道路構造物の被災は甚大であった一方、地震動による被災は、橋梁及びトンネルにおいては顕著でない中、土工構造物においては法面・盛土を始めとして少なからず被災した。この被災の程度と性能指標とを対比し、適合性を検証した。

## [研究成果]

### 1. 橋梁の将来状態予測手法

橋梁の劣化予測手法のうち、点検結果の統計分析による同一箇所での時期の異なる2回の点検結果の推移からマルコフ遷移確率を求めて予測する方法は、当該損傷程度にのみ支配され、橋年齢やそれ以前の状態は考慮しないものである。このため、経年にともない劣化進行が促進する現象は再現できない。そこで、遷移確率を橋年齢別(5歳単位)に求めて劣化曲線を作成した。鋼鈹桁橋の腐食を代表例として、図-1に示す。一律のマルコフ遷移確率とした①では下に凸の劣化曲線となるのに対して、橋年齢別マルコフ遷移確率を用いた②では上に凸の劣化曲線となり、高齢化に伴う劣化

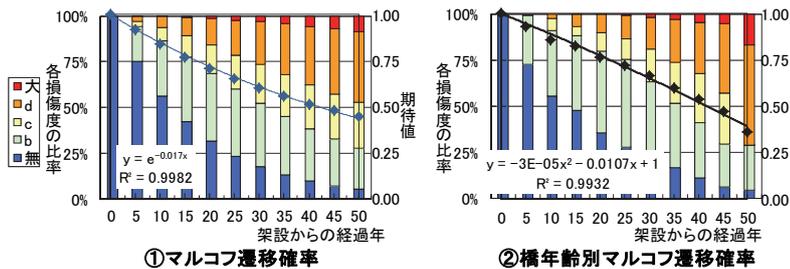


図-1 鋼鉄桁橋、主桁、腐食、A・B塗装系の劣化曲線

◆予防保全：原則bで補修 2千円/m<sup>2</sup>

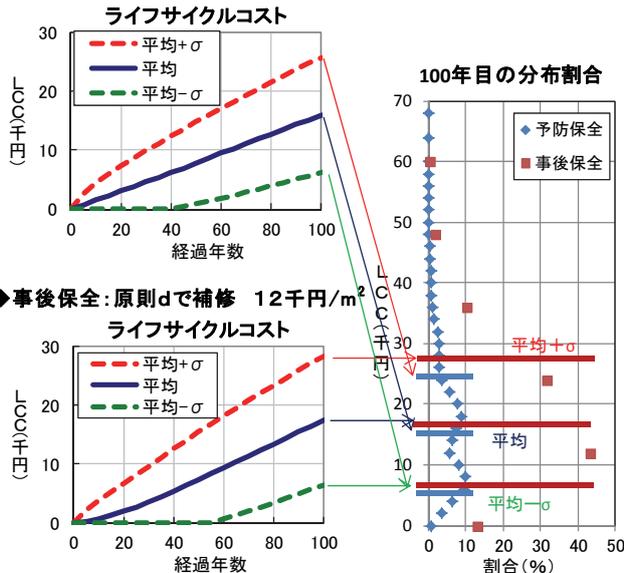


図-2 鋼鉄桁橋、主桁、腐食、A・B塗装系のLCC

の加速が表現できる劣化曲線となった。損傷に応じた劣化曲線の使い分けの重要性を示す1例である。

次に、上記①のマルコフ遷移確率を用いて、予防保全、事後保全のシナリオを設定し、1万回のモンテカルロシミュレーションを行い、モデル橋のLCCを算出した。予防保全とは、損傷程度b(小)で補修する一方、いきなり損傷程度c(中)以下となった場合は事後保全と同程度で補修、事後保全とは、損傷程度d(やや大)で補修である。なお、予防保全でcの補修を見送りとしたのは、cとdでの補修費用に大差がなく、耐荷性能が致命的とならない場合は先延ばしがLCCの観点からは有利であるとの考えからである。図-2に、結果を示す。左図は平均と±σの推移を示し、右図は100年目の分布割合を示している。平均では予防保全が若干有利な結果であるものの、-1σと+1σでは3倍の

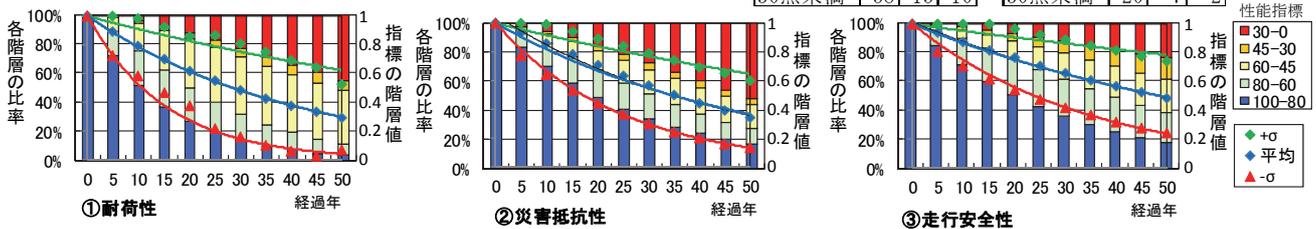


図-3 道路橋の性能指標の将来推移

開きがあり、その評価にはバラツキがあることを含めて考慮することが重要である。100年目のバラツキ状況は、予防保全では低い割合で幅広い金額に分布するのに対して、事後保全では高い割合で離散的に分布する特徴がある。平均の劣化曲線によるLCC評価では、結果の持つ信頼性をあわせて考慮すべきことが、示されたものと考えている。

部材単位の劣化予測とLCC試算値には大きな幅を有していること、及び橋全体の性能状態に着目して橋単位で補修・補強が行われることが一般的であることを踏まえ、橋梁単位での将来予測として、性能指標のマルコフ遷移確率から求めた推移曲線を、図-3に示す。性能指標は、全く損傷のない状態を100点とし、損傷が深刻になり性能が低下するほど減少していくように、かつ安全側に算出している。機能(耐荷性、災害抵抗性、走行安全性)毎に推移状況は異なる。これは、損傷毎に各機能に与える重みが異なるためである。今後は、性能指標の予測と実橋の状態との整合性を検討し、LCC算出にも取り組んでいく予定である。

## 2. 道路構造物群の性能指標

東日本大震災における土工構造物の被災程度と性能指標の関係を、表-1に示す。なお、被災の程度は、被災図や写真から読み取った定性的評価である。被災無しで30点未満が多いのは安全側の設定からは許容されると考えられる一方、被災大で60点以上は数は少ないものの不整合である。被災大の内容は、舗装のクラックや盛土肩部の変状等の指標算出に考慮していないものに加え、切土表層部の流出など指標算出項目も含まれているなど、今度の課題が抽出された。

[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]

道路構造物群の管理状態の評価手段の一つとして行政等での活用を働きかけていく予定。

表-1 土工構造物の性能指標と被災の程度との相関

①法面 (箇所)	被災の程度			②盛土 (箇所)	被災の程度		
	無	小	大		無	小	大
性能指標 60点以上	10	2	6	性能指標 60点以上	6	1	5
性能指標 30~60点	21	4	4	性能指標 30~60点	2	2	1
性能指標 30点未満	58	15	10	性能指標 30点未満	20	7	2

# 損傷部材の性能評価試験及び

## 既設道路橋の現有性能評価手法に関する調査検討

Research on Performance Evaluation Method for Existing Highway Bridges

(研究期間 平成 21～23 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 中洲 啓太

Senior Researcher Keita Nakasu

研究官 石尾 真理

Researcher Mari Ishio

交流研究員 吉川 卓

Guest Research Engineer Taku Yoshikawa Guest Research Engineer Atsushi Ujimoto

室長

Head

主任研究官

Senior Researcher Makoto Hoshino

研究官

Researcher

交流研究員

玉越 隆史

Takashi Tamakoshi

星野 誠

Senior Researcher Makoto Hoshino

横井 芳輝

Yoshiteru Yokoi

氏本 敦

The influence of existing bridge's damage on its load-carrying capacity was examined. As analytic approach, several models in each condition (sound, shifting and damaged) were made and load-carrying capacities in each condition were calculated. On the other hand, the load-carrying capacities of damaged girders were also tested as experimental approach.

### [研究目的及び経緯]

複雑な構造体である道路橋は、新設時には主要部材のみを解析モデルに取り込み設計される。しかし、実橋においては省略された部材も応力を分担するなど設計上の仮定と実橋の挙動が基本的に一致していない。そのような中、経年によって様々な変状が生じた道路橋に対する現有性能評価を、新設時の設計手法をそのまま適用して実施すると、実際には荷重分担している部材の効果が無視されるなどの不合理が生じる。一方、変状による部材性能の低下が適切に考慮されず安全が担保されないなどの問題を生ずる恐れがある。

以上のことから、合理的かつ適切な維持管理の実現を目的として、損傷部材を用いた耐荷力試験及び数値解析等を行い、既設道路橋の現有性能を正確に評価する手法を検討した。

### [研究内容及び研究成果]

#### (1) 既設床版の耐荷力及び耐久性評価

実際に長期間供用され劣化した鉄筋コンクリート床版を用いて、輪荷重走行試験を実施した。実験供試体は、同一車線に位置し、ひび割れの程度（幅、間隔）が同じで、貫通ひび割れ（漏水・遊離石灰）が生じている供試体 No. 1（写真-1 参照）、28 と貫通ひび割れの無い No. 25 とし、供試体 No. 28 には鋼板接着補強を施した（写真-2 参照）。供試体 No. 1 と No. 25 は貫通ひび割れの有無による耐荷力・耐久性の差について、供試

体 No. 1 と No. 28 は鋼板接着補強の有無による耐荷力・耐久性の差について、それぞれ比較するものである。

実験結果のうち、走行回数と床版下面の変位の関係を図-1 に示す。供試体 No. 1 は、No. 25 に比べて少ない走行回数で破壊に至り、貫通ひび割れの発生により著しく耐久性が低くなる可能性が示された。次に、供試体 No. 1 と No. 28 を比較すると、No. 28 は変位が小さく、鋼板接着補強の効果が大きいことがわかった。

また、鋼板接着補強した床版の破壊メカニズムの解明及びより精度の高いコンクリート系床版の疲労耐久性解析手法の確立を目的として、国総研が提案する解析手法<sup>1)</sup>の検証を実施した。検証は、過去に輪荷重走行試験を実施した5ケースを解析手法を用いて試算し、床版たわみや鉄筋ひずみの遷移傾向を把握する、また、実橋をモデル化した疲労耐久性解析により、これまでの床版の解析で考慮していなかった主桁の拘束が破壊形態に及ぼす影響について整理することにより実施した。図-2 に、解析結果の例を示す。この解析手法で、概ね実験結果が再現できることが検証された。



写真-1 供試体 No. 1



写真-2 供試体 No. 28

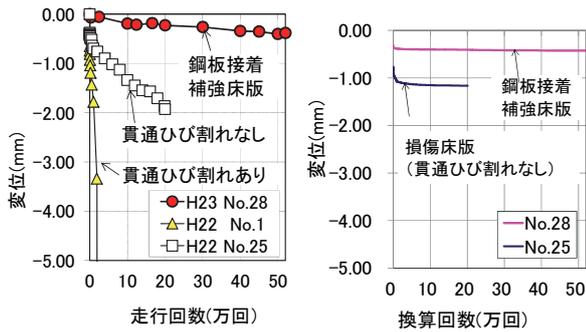


図-1 試験結果

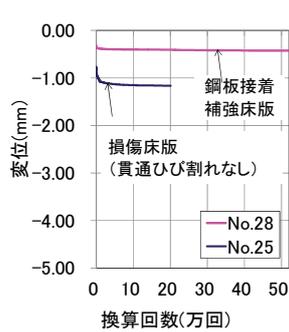


図-2 解析結果

(2) 既設鋼板桁橋及び PCT 桁橋の耐力評価手法

1) 鋼板桁橋

腐食による局所的な断面減少や亀裂に対して簡便に耐力評価を行うことを目的とし、FEMと比較して簡便な解析手法である一定せん断流パネル解析（以下「せんパネ法」という。）を用いて、詳細なモデル化の設定方法、要素サイズ、損傷の違いをパラメータとした試算を行い、モデル化の違いが算出結果に与える影響を把握した。

鋼板桁橋の局部腐食による板厚減少に対して、詳細にモデル化する範囲と要素サイズをパラメータとしたモデル化例を、図-3 に示す。解析の結果、図-4(a)に示すとおり、詳細要素の範囲の違いでは、最大値、応力度分布ともに結果に違いは生じなかった。一方、図-4(b)に示すとおり、せんパネ法の要素サイズを小さくするほど最大値が大きく、分布形状も鋭敏になり、FEM解析結果に近づくことがわかった。

2) PCT 桁橋

ひび割れが生じた PC 橋の耐力を適切に評価するモデル化手法を検討するため、ひび割れにより生じたたわみと同等のたわみになるようコンクリート桁の剛性を落としてひび割れによる損傷を評価するモデル（以下「剛性低下モデル」という。）と、ひび割れを二重節点の接触要素として表現したモデル（以下「ひび割れモデル」という。）について検討した。解析結果を図-5 に示す。ひび割れモデルでは、PC 鋼材の軸方向応力がひび割れ位置で局所的に大きくなる（図-5(a)）。一方、剛性低下モデルでは、PC 鋼材の局所的な応力状態が評価できず、ひび割れモデルにおけるひび割れと同位置の PC 鋼材の軸方向応力が 20%程度小さい結果となっている（図-5(b)）。

このことから、剛性低下モデルでは、コンクリートのひび割れによって生じる、局所的な内部鋼材への引張応力の集中による破断の危険性を、過小に評価する可能性があることがわかった。

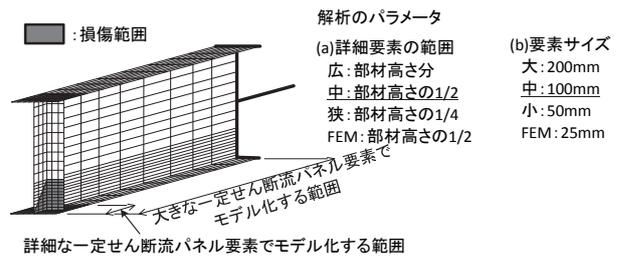


図-3 板厚減少モデル

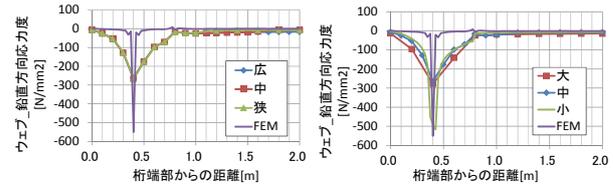


図-4 板厚減少モデルのウェブ下端鉛直方向応力度

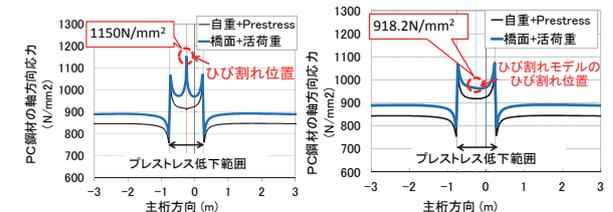


図-5 PC 鋼材の軸方向応力

【今後の課題】

補修・補強床版については、破壊メカニズムを解明し、供用中の床版の残存耐力及び耐久性について検討する必要がある。また、疲労耐久性評価手法についても、貫通ひび割れのモデル化方法や耐力評価方法の精度を向上させていく必要がある。

主桁の耐力照査においては、様々な損傷、モデル化条件が解析結果に与える影響について把握した。今後は、さらに種々の構造でケーススタディを実施し、評価指標についても検討していく必要がある。

【成果の発表】

- ・点検要領（診断の手引き）への反映
- ・既設床版の耐力評価手法の検討

【成果の活用】

基準等に反映させる予定。

【参考文献】

- 1) 国総研資料共同研究報告書第 472 号, 道路橋床版の疲労耐久性評価に関する研究