

## 道路政策の質の向上に資する技術研究開発

## 【研究状況報告書（FS研究対象）】

①研究代表者	氏名（ふりがな）		所属		役職
	大野 豊繁（おおの とよしげ）		（一社）日本橋梁建設協会		技術調査部部長
②研究 テーマ	名称	鋼橋の現位置改良工法の開発			
	政策 領域	[主領域] 領域8 道路資産の保全	公募	タイプI	
		[副領域]	タイプ		
③研究経費（単位：万円） ※受託額を記入。	平成28年度 918万円				
④研究者氏名	（研究代表者以外の主な研究者の氏名、所属・役職を記入。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）				
氏名		所属・役職			
春日井 俊博		（一社）日本橋梁建設協会・技術委員会委員			
三宅 隆文		（一社）日本橋梁建設協会・設計小委員長			
稲田 育朗		（一社）日本橋梁建設協会・保全委員会委員			
⑤研究の目的・目標（提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入。）					
<p>本研究は、損傷した鋼橋を現在の位置で供用しながら、維持管理がより容易な新構造へと改良する新しい工法を開発するものであり、その特徴は既設主構造から新設主構造へと耐荷機能を以降することである。工法の適用性、安全性と実用性を実験と解析で検証する。</p> <p>（平成28年度の目標）</p> <p>下記5項目を行う。</p> <p>(1)工法成立性の検討、(2)耐荷力評価法確立の実現性に関する検討、(3)提案工法実現のための適用範囲と検討範囲の絞り込み、(4)フィージビリティのまとめ、(5)報告書の作成</p>					

## ⑥ F S 研究の結果

平成28年12月末時点で予算実績では55%、成果は下記のとおり。

### (1) 工法成立性の検討

#### a) 検討対象の条件設定

- ・対象橋梁は、海からの飛来塩分の影響を受ける地域の跨線橋とした。平成26年度の道路メンテナンス年報によると跨線橋の数は、全道路管理者合計で9,190橋、うち国道交通省が管理するものが1,705橋である。
- ・構造形式は、最も一般的と考えられる単純非合成鈹桁と床版の影響を考慮した単純合成鈹桁の2種類とした。平成26年度の点検結果から、橋長31m以下が61%を占めることから、橋長30.6m、支間長は30mを検討対象とした。

H26年度に点検が行われた跨線橋(橋長200m以上を除く)

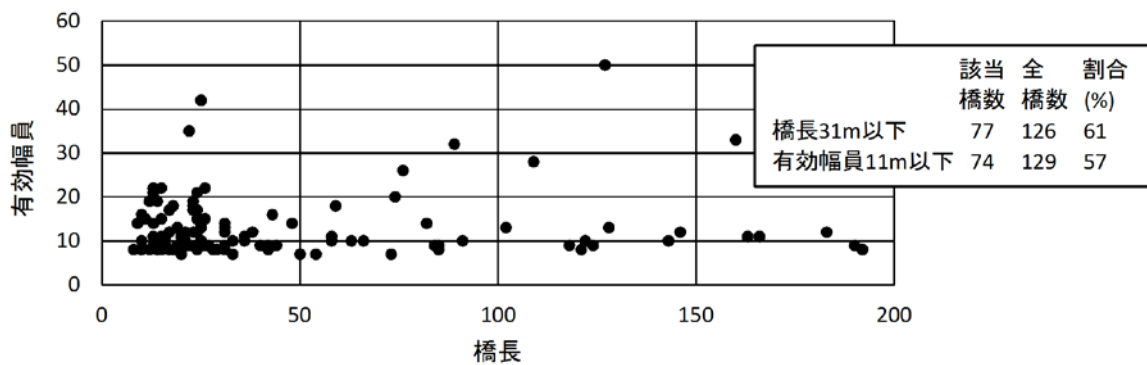


図-1 跨線橋の橋長と有効幅員の範囲

#### b) 適用範囲の検討

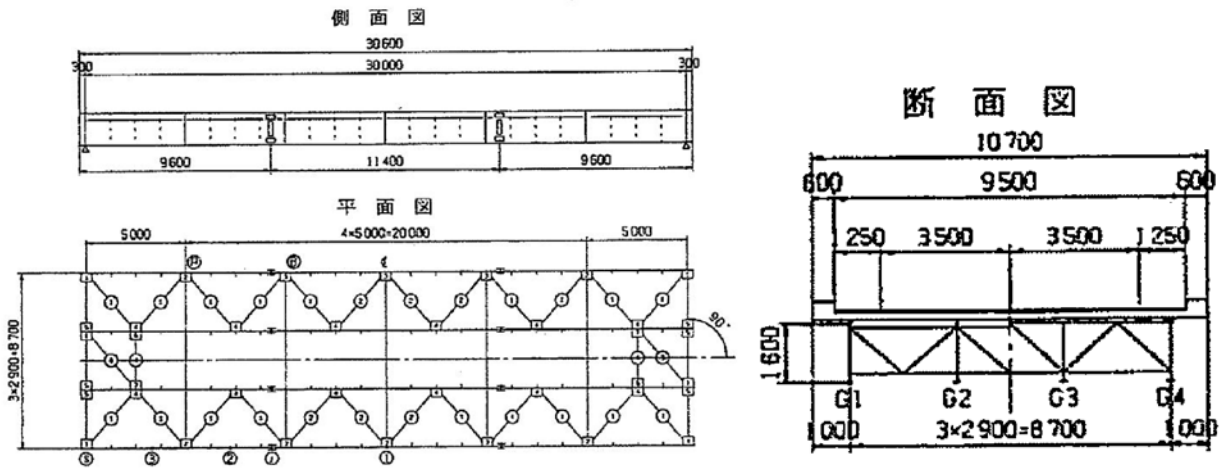
- ・改良を行う既設橋は、点検結果の判定区分でIV緊急措置段階、すなわち構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態のものと仮定した。
- ・平成26年度の点検結果では、全道路管理者合計で1,022橋の点検が行われ、うち判定区分IV（緊急措置段階）と判定されたものは3橋であった。

#### 【跨線橋】

管理者	施設名	路線名	建設年	損傷の具体的内容	緊急措置内容
国土交通省 (山形県)	さかいだこせんきょう 堺田跨線橋	国道 47 号	1970	下フランジ及び支点上補剛材の一部が欠損。支承にも著しい腐食	仮受材の設置
柏市 (千葉県)	だいいちながれやまかいどう 第一流山街道 跨線道路橋	市道 01066 号 線	1971	主桁・下部構造の剥離・鉄筋露出、及びゲルバー部の疲労損傷	仮受材の設置
串本町 (和歌山県)	あぶつかいこせんきょう 和深跨線橋	町道下地東地 平見線	1980	主桁、横桁、橋脚等の腐食、断面欠損	通行止め

c)構造設計

- ・維持管理性の向上の要求性能として、き電停止以外でも足場上での作業が可能となるように足場下面と鉄道建築限界との離隔を0.6mから1.2mへ拡大することとした。具体的には既設主桁の腐食部位である下フランジとウェブ下端を切除し、路面高さをかさ上げせずに全体の構造高を低く改良することとした。
- ・損傷状態にある既設橋は、昭和53年の建設省標準設計による単純非合成鈹桁と、同じ設計条件で昭和53年当時の基準で復元設計を行った単純合成鈹桁とした。
- ・改良後の構造は、既設橋の幅員方向両外側に新設箱桁を増設するものとした。既設橋の主桁は改良構造では縦桁として再利用する。既設橋の対傾構、横構は撤去し、改良構造では新設の横桁で縦桁を支持することとした。



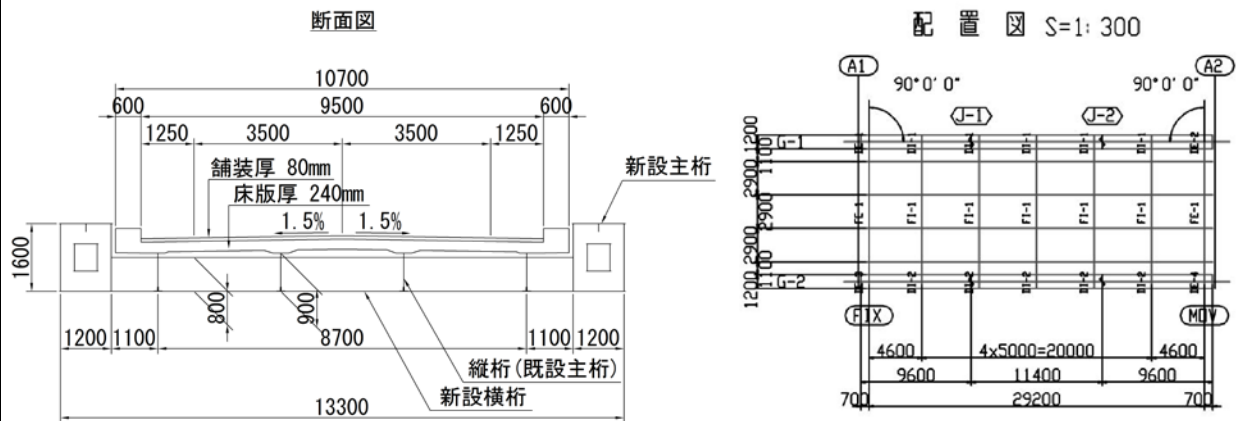
付表 断面寸法 (復元設計, 合成桁)

		Sec.1(桁端)	Sec.2	Sec.3(支間中央)
断面長[mm]		3600	3900	15600
G1(G4)	上フランジ[mm]	230×11	250×19	310×19
	ウェブ[mm]	1600×9		
	下フランジ[mm]	280×13	390×25	520×28
	断面二次 モーメント[cm <sup>4</sup> ]	合成前	704197	1204607
合成後		2372350	3796235	4817163
G2(G3)	上フランジ[mm]	240×11	280×16	350×16
	ウェブ[mm]	1600×9		
	下フランジ[mm]	280×25	400×25	500×28
	断面二次 モーメント[cm <sup>4</sup> ]	合成前	887853	1189561
合成後		3463187	4201551	5141532

※主桁の材質はSM490Y

図-2 対象橋梁の一般図

(図は標準設計の単純非合成鈹桁、付表は復元設計の値、支間長30m)



付表 断面寸法

(a)主桁

		Sec.1, 3(桁端)	Sec.2(支間中央)
断面長[mm]		9600	11400
G1(G2)	上フランジ[mm]	1260×19	1260×21
	ウェブ[mm]	1600×14	1600×14
	下フランジ[mm]	1260×15	1260×17
	断面二次モーメント[cm <sup>4</sup> ]	3888855	4228503

※主桁の材質はSM490Y

(b)横桁

		Sec.1
FE-1 (端)	上フランジ	600×40
	ウェブ	800×18
	下フランジ	600×40
FI-1 (中間)	上フランジ	600×40
	ウェブ	800×18
	下フランジ	600×40

(c)縦桁(既設主桁)

		Sec.1(桁端)	Sec.2	Sec.3(支間中央)
断面長[mm]		3600	3900	15600
ST1(ST4)	上フランジ[mm]	230×11	250×19	310×19
	ウェブ[mm]	900×9		
	下フランジ[mm]	409×20		409×35
	断面二次モーメント[cm <sup>4</sup> ]	合成前	233735	303831
合成後		1233695	1253471	1767820
ST2(ST3)	上フランジ[mm]	240×11	280×16	350×16
	ウェブ[mm]	900×9		
	下フランジ[mm]	409×20		
	断面二次モーメント[cm <sup>4</sup> ]	合成前	267845	295518
合成後		1385178	1401245	1403009

※縦桁の材質はSM490Y

図-3 改良構造の一般図

(2) 耐荷力評価法確立の実現性に関する検討

a)解析検討の目的

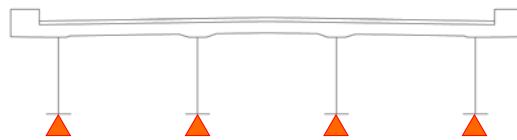
・既設部材と新設部材との合成構造の耐荷力を評価する手法を実現することで、従来の許容応力度設計法では不可能であった、既設部材と新設部材それぞれに対して適切な部分係数を設定できる可能性を検討することをFEM解析の目的とする。

b)解析ケース

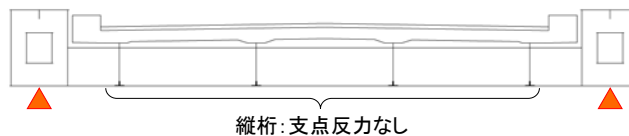
・許容応力度設計法により決定された既設構造Oと改良構造N-1の耐荷力をFEM解析により計算し、比較構造として既設の縦桁の支間両端に支点を設けた構造N-2、さらに新設主桁の断面を縮小させ板厚を75%とした構造N-3のそれぞれの耐荷力を計算した。また、改良工事の施工において既設部材を再利用する縦桁の降伏に対する応力度の余裕が少ない場合を想定して、死荷重+活荷重の荷重ケースで縦桁下フランジが降伏応力程度となるケースをN-4とした。N-4はN-3の構造で縦桁の降伏応力度を低減して、他のモデルよりも初期の降伏荷重を低く設定したモデルである。

表-2 解析ケース

ケース名	概要	付図
O	既設構造	1
N-1	既設の主桁を改造、新設主桁を増設	2
N-2	N-1の構造の縦桁位置に支点を設置	3
N-3	N-2の構造で新設主桁の断面を縮小(75%)して最適化	4
N-4	N-3の構造で縦桁の降伏応力度を低く設定( $\sigma_v = 130\text{N/mm}^2$ )	4

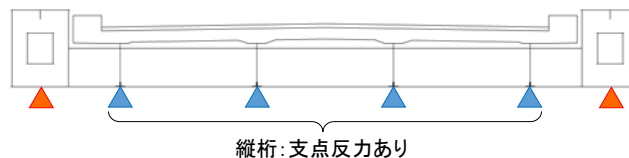


付図-1 既設構造 (O)



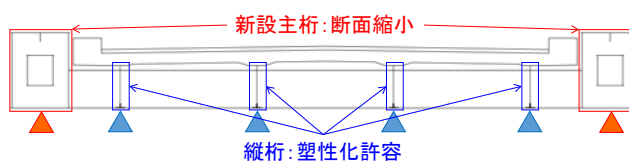
縦桁: 支点反力なし

付図-2 既設の主桁を改造、新設主桁を増設 (N-1)



縦桁: 支点反力あり

付図-3 N-1の構造の縦桁位置に支点を設置 (N-2)

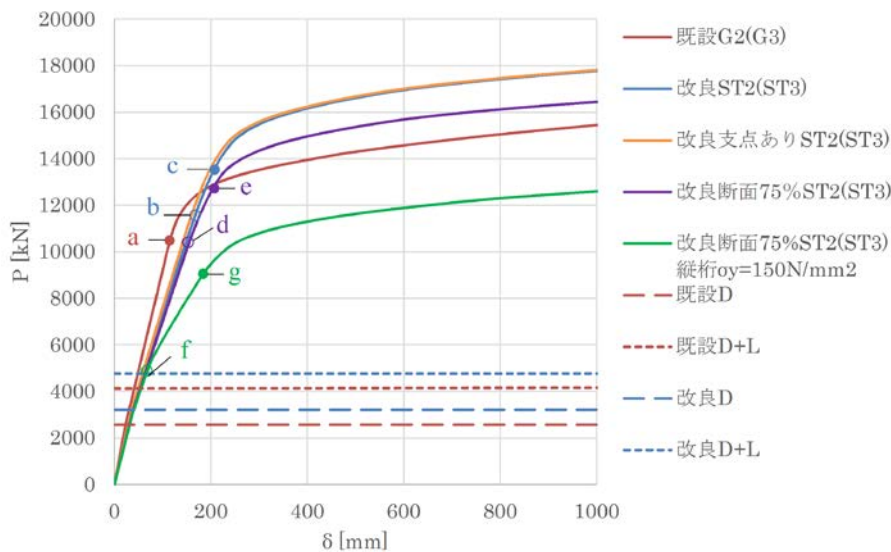


### c)モデル化

- ・主桁、横桁およびRC床版はシェル要素で、対傾構、横構はトラス要素でそれぞれモデル化した。
- ・応力-ひずみ関係は、鋼材は降伏応力度以降にヤング係数を降伏前の1/100に変化させるバイリニアとした。コンクリートは圧縮強度でヤング係数を変化させる完全弾塑性とした。
- ・荷重は、死荷重Dを作用させた後に、L活荷重を増加させる漸増载荷とした。

### d)解析結果

- ・既設構造のケースOは、荷重10485kN(D+5.1L)で主桁下フランジが降伏した。
- ・改良構造のケースN-1は、荷重11759kN(D+5.5L)で縦桁の下フランジが降伏し、荷重13623kN(D+6.7L)で新設主桁の下フランジが降伏した。許容応力度設計法で決定した改良構造は既設構造より1.12倍の耐荷力（降伏荷重）の増加が確認できた。
- ・改良構造の新設主桁の断板厚を75%へ減少させたケースN-3では、耐荷力は減少したが、縦桁が降伏する荷重は10434kN(D+4.7L)で、既設構造とほぼ同等となった。
- ・縦桁の降伏応力度を低く設定したケースN-4は、荷重4842kN(D+1.1L)で縦桁の下フランジが降伏し、荷重9035kN(D+3.8L)で新設主桁の下フランジが降伏した。



付表 イベント一覧

グラフ凡例	荷重 P [kN]	たわみ delta [mm]	ケース	断面降伏	
a ●	D+5.1L	10485	114.91	既設	主桁
b ○	D+5.5L	11759	170.92	改良	縦桁
c ●	D+6.7L	13623	208.72	改良	主桁
d ○	D+4.7L	10434	155.56	改良断面 75%	縦桁
e ●	D+6.2L	12764	205.15	改良断面 75%	主桁
f ○	D+1.1L	4842.1	67.365	改良断面 75% 縦桁 $\sigma_y = 150\text{N/mm}^2$	縦桁
g ●	D+3.8L	9035.8	183.61	改良断面 75% 縦桁 $\sigma_y = 150\text{N/mm}^2$	主桁
—	D+7.1L	13591	313.63	既設	床版
—	D+8.3L	16108	387.96	改良	床版

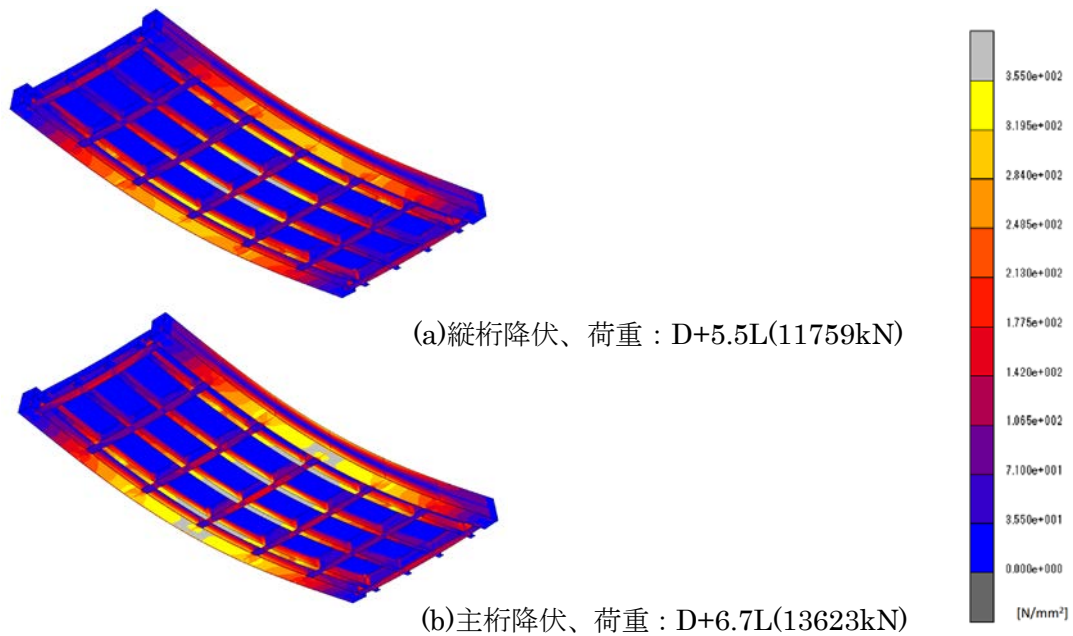


図-5 改良構造 (N-1) の変形形状 (×10倍) とミーゼス応力のコンター

- ・ 既設部材と新設部材の合成構造では、荷重分担割合の適切な設定と、既設部材と新設部材のそれぞれで部分係数を適切に設定することで、より合理的な設計ができる可能性が確認できた。
- ・ 従来の許容応力度設計法では、既設部材と新設部材とも断面の端縁における材料の降伏を限界状態として部材の安全率は同一となっている。提案する工法では、既設部材と新設部材とからなる複合部材の最大耐荷力時を限界状態として、部材毎の安全率を個別に設定する設計法の可能性を検討している。
- ・ 既設部材を改良した縦桁が設計荷重相当のD+Lで下フランジが塑性化しても、横桁から主桁へと荷重が伝達され、橋梁全体の構造としては耐荷機能が保持されることを確認した。



## ⑦本格研究の見通し

(FS研究の結果を踏まえた本格研究における研究成果の見通し、今後の研究目標の達成見込み、成果の活用方法、手段、今後の展開等を記入。この際、提案書(当初計画)からの変更点があれば、分かるように工夫すること。)

### 1. 今後の研究目標の達成見込み

FS採択の研究により、損傷橋梁の補強方法として従来の当て板による工法に比べて合理的となることを目指した、既設部材と新設部材との合成構造を適切に組み合わせる新しい補強方法の可能性が確認できた。本採択の研究によって、提案する工法の補強効果の確認、および設計法の基本的な考え方の整理ができるものとする。

### 2. 成果の活用方法

従来は、対象療法的に損傷部分の断面修復を行い、補強部材を追加し、許容応力度法によって安全性の評価を行ってきたが、既設部材を許容応力度以内とするために過大な補強部材が必要となっていることが解決すべき課題のひとつであった。今後の部分係数設計法の導入も考慮して、既設部材と新設部材のそれぞれに適切な部分係数を用いた合成構造へ改良することで、より合理的な設計手法が可能になると考えられる。本研究の成果は、今後の鋼橋の維持管理において補修、補強の実施に活用できるものとする。

### 3. 当初計画からの変更点

当初計画では、モデル橋梁の改良に関する設計および施工計画を主体とする研究であったが、FS採択となったため、補強工法の実現可能性の検討を主体とする内容に変更して研究を実施した。今後は、既設部材と新設部材の合成構造に改良する補強工法について、補強効果を解析で検討し、予備実験による試験体の検討と解析手法の妥当性の検証を経て、最終段階として模型実験による提案工法の施工性および安全性の検証を行うこととした。

## ⑧特記事項

### 1. 得られた知見

従来の許容応力度設計法では、既設部材の応力度の制限により過大な補強部材が必要であったが本研究の検討手法により、既設部材と新設部材の合成構造において、部材ごとに異なる部分係数を適切に設定することで、許容応力度法による従来の工法に比べて経済的な補強設計が行える可能性があることがわかった。

### 2. 進捗の達成度

当初計画では、解析検討は骨組モデルを主体にしていたが、補強構造の詳細な挙動を解明するため、本採択で実施予定であったFEM解析検討の一部を前倒しして実施することとした。このため当初計画の一部内容を変更しているが、必要な知見はすでに得られているため、FS採択としての目的は達成できるものと自己評価する。