

戦-3 1 古い年代の鋼部材の材料・強度特性から見た状態評価技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 20～平 22

担当チーム：橋梁構造研究 G

研究担当者：村越 潤，梁取 直樹，
澤田 守

【要旨】

本研究では、既設鋼橋の維持管理に資する基礎データの蓄積を図るために、撤去された鋼橋から採取した鋼部材の材料・強度特性を調査するとともに、損傷を受けた部材の損傷進行性(疲労き裂から脆性破壊への移行のし易さ等)の評価方法の検討を行う。また、既設鋼橋における疲労耐久性の評価手法の検討を行う。平成 20 年度は、撤去橋梁 8 橋から採取した鋼部材を用いて各種試験を実施し、材料・強度特性を把握するとともに、疲労設計導入前の鋼道路橋を対象として、建設当時の基準による復元設計を行い、現行基準に基づく疲労照査を行った。

キーワード：既設鋼橋，維持管理，材料・強度特性，脆性破壊，疲労耐久性

1. はじめに

近年、一般国道において山添橋の 1m 以上のき裂の発生、木曾川大橋、本荘大橋のトラス斜材の破断等、高度経済成長期に大量に建設され、40 年以上経過した道路橋において致命的な事故に至る寸前の重大損傷が報告されている。また、海外では米国ミネソタ州 I-35W 橋の崩壊事故が発生しており、橋全体の致命的な損傷につながる恐れのある部材 (Fracture Critical Member: FCM) に対して適切な点検・診断を行っていく必要がある。

古い年代に建設された鋼橋に使用される鋼材に関しては、現状の鋼材と異なる面が多々あり、疲労・腐食等の劣化損傷の進行した橋の維持管理においては、建設当時の鋼部材の材料、強度特性に配慮する必要がある。

本研究では、既設鋼橋の維持管理に資する基礎データの蓄積を図るために、撤去された鋼橋から採取した鋼部材の材料・強度特性を調査するとともに、損傷を受けた部材の損傷進行性(疲労き裂から脆性破壊への移行のし易さ等)の評価方法の検討を行う。また、将来の疲労損傷が懸念される橋梁部位の疲労耐久性の評価手法の検討を行う。

平成 20 年度は、古い年代に建設された鋼橋の鋼材の材料・強度特性の変遷の整理を行いつつ、撤去橋梁 8 橋から採取した鋼部材を用いて各種試験を実施し、材料・強度特性を把握した。また、疲労設計導入前の既設鋼 I 桁橋を対象として、建設当時の基準による復元設計を行い、現行基準に基づく疲労照査

を行うとともに、疲労耐久性の分析を行った。

2. 古い年代に建設された鋼橋の使用鋼材の材料・強度特性に関する検討

2. 1 試験内容

(1) 試験片

鋼材については、既に入手済みの撤去部材のうち、昭和初期から昭和 50 年代にかけて技術基準、鋼橋製作の変遷を参考にしながら年代を選定した。なお、鋼材の規格、製造方法及び使用鋼材の基準の変遷については省略するが、鋼材の主な年代の変遷としては、製鋼法として昭和 30 年頃から平炉法から転炉法へと移行し、靱性に影響を与える化学成分 P や S を取り除く技術が向上していることが挙げられる¹⁾。

写真-1 に、実橋(後述の表-1 の No.6) から採取した下フランジ部からの試験片の位置の例を示す。採取部位については主桁・主構部材のフランジ、ウェブを基本とした。板の表裏面の塗装を剥離剤で除去後、板厚測定、写真撮影、腐食観察を実施した後、

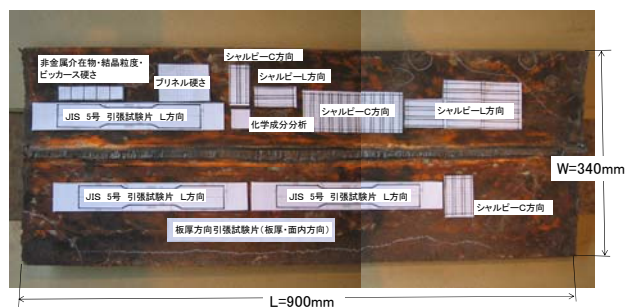


写真-1 試験片採取位置

表-1 試験項目

試験片番号/橋梁名/ 試験片の詳細		番号		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7		No. 8		No. 9						
		橋名	RYO橋	ASA橋	TOS橋	WAN橋	TIY橋	TOY橋	MIN橋		TAK橋脚									
試験項目/ 試験規格/試験温度		建設年次	S11	S28	S28	S29	S29	S38	S39		S55									
		接合方法	リベット	リベット	リベット	リベット	リベット	溶接	溶接		溶接									
		橋梁形式	トラス	鈹桁	トラス	鈹桁	トラス	鈹桁	鈹桁		鋼製橋脚									
		部位	横桁	主桁	斜材	主桁	縦桁	主桁	主桁		柱部									
		板厚	10mm	10mm	9mm	12mm	8mm	14 mm	9mm		28mm		28mm							
		鋼種	St39 ^{注1)}	SS41 ^{注1)}	SS41 ^{注1)}	SS41 ^{注1)}	SS41	SM50 ^{注1)}	SS41		SM58		SM50YB							
		採取部位	母材	母材	母材	母材	母材	母材	母材	WM	HAZ	母材	WM	HAZ	母材	WM	HAZ			
		引張試験	JIS Z 2241	室温	各3本	○	○	○	○	○	○	○	-	-	○	-	-	○	-	-
		板厚方向引張試験	-	室温	板厚・面内 方向各3本	○	○	○	○	○	○	○	-	-	○	-	-	○	-	-
		シャルピー衝撃試験	JIS Z 2242	5温度	1温度各3本	○ ^{注2)}	○ ^{注2)}	○ ^{注2)}	○ ^{注2)}	○ ^{注2)}	○ ^{注2)}	○ ^{注2)}	○ ^{注2)}	○ ^{注2)}	○ ^{注2)}	○ ^{注2)}	○ ^{注2)}	○ ^{注2)}	○ ^{注2)}	○ ^{注2)}
CTOD試験	WES 1108	5温度	1温度各3本	-	-	-	-	○	○	-	-	○	○	-	-	-	-	-		
化学成分分析	JIS G 0321	室温	-	○	○	○	○	○	○	○	-	-	○	-	-	○	-	-		
非金属介在物試験	JIS G 0555 (付属書1)	室温	-	○	○	○	○	○	○	○	-	-	○	-	-	○	-	-		
結晶粒度試験	JIS G 0551	室温	-	○	○	○	○	○	○	○	-	-	○	-	-	○	-	-		
硬さ試験	JIS Z 2243 JIS Z 2244	室温	ピッカース7点, ブリネル3点	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	○	-	-	○	-		

注1) 鋼種を特定する既存資料が残っており、引張試験結果から推定した
注2) JIS Z 2202に規定される5mm幅のハーフサイズとした

注3) シャルピー衝撃試験、CTOD試験においては、圧延方向(L方向)とその直角方向(C方向)について試験を実施した
注4) WM: 溶接金属、HAZ: 熱影響部

腐食等による表面の凹凸の影響を除去するため、表面研削を行い、平滑な試験片を製作した。

(2) 試験項目

表-1 に鋼材を採取した橋梁の概要と主な試験項目をまとめる。試験項目としては8項目であり、以下に概要を示す。

1) 引張試験

圧延方向を基本とした。なお、No.5について直角方向も含め2方向採取したが、両者の違いは見られなかった。JIS規格による試験片の寸法形状は板厚毎に異なるが、採取上の制約から「JIS Z 2201」に規定される5号試験片(幅:25mm, 平行部の長さ:60mm)に統一した。伸び計により破断までの、応力-ひずみ・伸び曲線, 降伏応力, 引張強さ, 絞り, 伸びを整理した。

また、古い鋼材の場合には溶接補修時等にラメラティアと呼ばれる割れが発生し、板厚方向の引張強度特性が著しく低下する事例も見られることから、同方向の強度特性についても「JIS G 3199」を参考に試験を行った。ただし、試験片については板厚が8~28mmと薄い鋼材を含みJIS規格に適合した試験片が得られないことから、板厚方向と面内方向について同様に機械加工した試験片(平行部長さ2mm, 直径3mmのダンベル型試験片)を製作し、両者の比較を行った。

2) シャルピー衝撃試験/CTOD試験

シャルピー衝撃試験/CTOD試験については、衝撃特性, 破壊じん性等の年代的な鋼材の基本的特性

の把握とともに、その結果を基に、溶接部の疲労き裂の脆性破壊への移行のし易さ(限界き裂長:脆性破壊が発生に至るまでのき裂進展長)の目安を把握することを目的としている。CTOD試験についてはJIS規格にはなく、溶接協会規格のWES 1108「き裂開口変位(CTOD)試験方法」の方法に従った。

試験温度についてはいずれも遷移曲線を求めるために、5温度で実施した。シャルピー衝撃試験では、シャルピー吸収エネルギー, 脆性破面率の遷移曲線, 破面遷移温度, エネルギー遷移温度, 破断面の状況等, CTOD試験では、限界CTOD値, 荷重-クリップゲージ開口変位曲線等の結果を整理した。

3) 化学成分分析試験

化学成分の含有量の把握を目的として、各種の鋼材特性に影響を与える主な化学成分の含有量(%), C, Mn, Si, Cu, Ni, Cr, Mo, V, B, P, S (C, S:赤外線吸収法, その他:発光分光分析法), 次式で表される溶接性を表す指標 P_{cm} (%), C_{eq} (%)について整理した。これらは、溶接時の割れ防止の指標として道路橋示方書II鋼橋編(以下、道示II)では組立溶接長の低減の判断指標(P_{cm} で0.2%以下, C_{eq} で0.36%以下), 溶接時の割れ防止のための予熱温度の判定条件(鋼種, 板厚に応じた予熱温度を適用する場合の判定条件)として適用されている。

$$P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cu}{20} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

$$C_{eq} = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14}$$

4) 硬さ試験

鋼材の強度特性に関連する鋼材の硬さの把握を目的として、鋼材表面に対してブリネル硬さ試験、板厚方向分布に対してビッカース硬さ試験を実施した。

5) 非金属介在物試験／マイクロ試験

各種の鋼材特性に関連する非金属介在物の割合や、鋼材の組織把握を目的として、顕微鏡による鋼の非金属介在物の種類および数量の測定と、組織結晶粒の観察および結晶粒度の測定を実施した。

2. 2 試験結果

以下、試験項目のうち主な試験結果について示す。

2. 2. 1 引張試験

図-1 に橋別の引張試験結果を示す。No.1, 2 の引張強さは、当時の規格値 (No.1 は St39, No.2 は SS41) に比べ、若干下回ったが、それ以外は当時の JIS 規格値を満足していた。

図-2 に板厚方向の引張試験結果を示す。図中には図-1 の JIS5 号試験片の圧延方向の引張試験結果を示すが、板厚方向用の試験片の方が、JIS 5 号試験片と比較して、若干高め傾向が見られる。相对比较によると、No.4-5 の板厚方向の引張強さは、面内方向に比べ低い結果となっている。破断面の観察によると介在物が起点となって破壊が生じた可能性が考えられる。

2. 2. 2 シャルピー衝撃試験／CTOD 試験

図-3 に No.5 および No.7 の鋼材 (SS41 鋼材、板厚が 10mm 程度の薄板で、昭和 30 年前後に建設) について CTOD 試験の結果を示す。限界 CTOD 値は試験片の板厚や鋼材の強度等に依存するが、ここでは試験片の寸法形状は板厚 7mm と統一した。試験温度は、限界 CTOD 値の上限側が求められるよう試験片ごとに設定した。図中には、文献²⁾における鋼種 SN400B の H 形鋼 (板厚 9mm、年代は平成 16 年頃) の CTOD 試験結果を示す。限界 CTOD 値については、WES2805³⁾による推定式では次式で表される。

$$\delta_c(T) = 1/k_c \cdot vE(T + \Delta T)$$

$$\Delta T = 87 - 0.10 \sigma_{Y0} - 6\sqrt{t}$$

$$k_c = 250$$

$\delta_c(T)$: 評価温度 T(°C)における限界 CTOD 値の平均値(mm)

$vE(T + \Delta T)$: 温度 T+ΔT (°C) におけるシャルピー吸収エネルギーの平均値(J)

σ_{Y0} : 室温における材料の降伏点又は 0.2%耐力(MPa)

t : 対象とする鋼板の厚さ(mm)

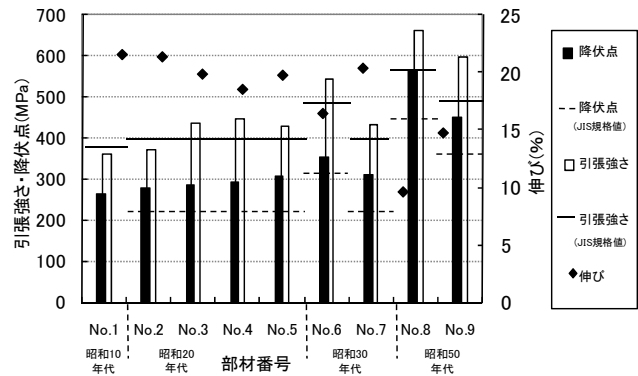


図-1 引張試験結果

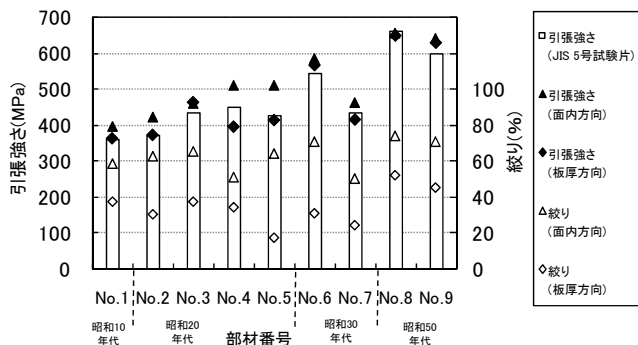


図-2 板厚引張試験結果

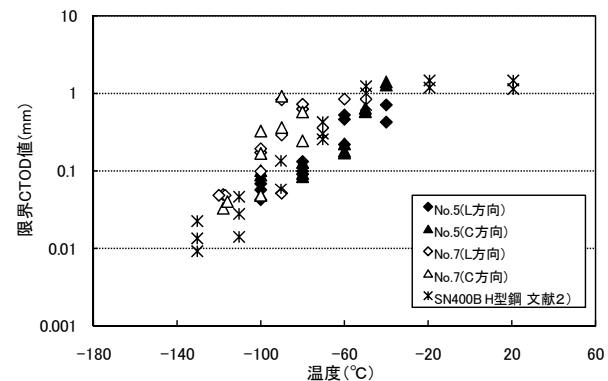


図-3 CTOD 試験結果

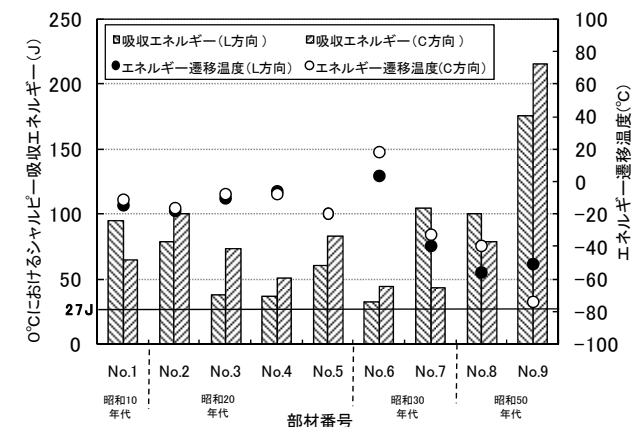
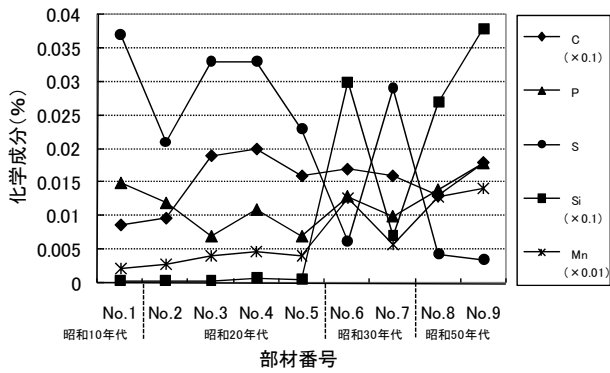
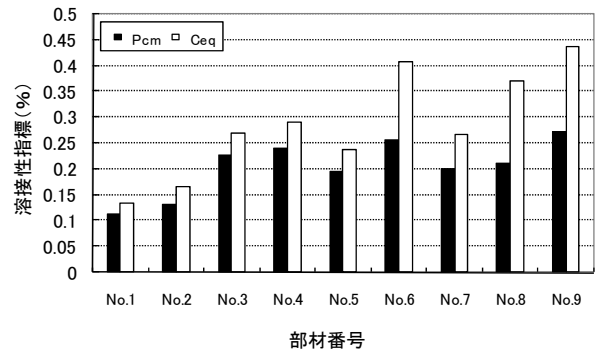


図-4 シャルピー衝撃試験結果



(a) 主な化学成分



(b) 溶接性指標

図-5 化学成分分析結果

従って、限界 CTOD 値は主として降伏応力と板厚に影響を受けると考えられるが、今回試験を行った試験片と文献²⁾の試験片については、少なくともこれら条件は同程度である。昭和 30 年前後の鋼材の限界 CTOD 値は、最近の鋼材と比べ大差は見られなかった。

図-4 にシャルピー衝撃試験結果における吸収エネルギー遷移温度と、0°Cにおけるシャルピー吸収エネルギー値を示す。No.1~5, No.7 の 400MPa 級の鋼材のエネルギー遷移温度は、L および C 方向でほぼ同じであった。また、No.6 については突出して高い傾向にあった。0°Cにおける吸収エネルギー値は、SM 鋼材 B の JIS 規格値である 27J 以上であった。

2. 2. 3 化学成分分析

図-5 に鋼材の材料・強度特性に影響を与える主な化学成分分析結果を示す。靱性や板厚方向の強度特性等に影響するリン P や硫黄 S の量は、現行 JIS 規格 (SS400 では 0.05% 以下, SM 材では 0.035% 以下) を満足していた。S は新しい年代の鋼材ほど減少する傾向がみられた。400MPa クラスの鋼材の No.1~5, 7 の P_{cm} は 0.25% 以下であり、道示 II における予熱を必要としない値であり、溶接性は比較的良好な鋼材であった。

3. 疲労設計導入以前に建設された鋼 I 桁橋の疲労耐久性に関する検討

3. 1 検討内容

疲労設計導入前に建設された鋼橋の疲労耐久性把握するため、古い年代に建設された鋼 I 桁橋を対象として建設当時の適用基準による復元設計を行い、「鋼道路橋の疲労設計指針」(平成 14 年)⁴⁾に基づく疲労照査を行うとともに、適用基準の違いによる疲労照査用活荷重による応力範囲及び疲労損傷度の傾向について分析した。

3. 1. 1 検討対象橋梁

表-2 に検討対象とした橋梁を示す。昭和 39 年道示の支間長 40m の単純桁を基本ケースとして適用基準、支間長、連続・単純等の条件の異なるケースを選定した。適用基準に関しては、溶接接合の導入された昭和 30 年代以降で、疲労照査用活荷重に影響を与える構造上の変化(床版規定の改訂に伴う死荷重変化、鋼材許容応力度の変化、鋼道路橋設計ガイドライン(案)の適用(平成 7 年)⁵⁾)が想定された昭和 39 年、昭和 55 年、平成 14 年道示(以下、S39, S55, H14 道示)とした。表-3 に基本ケースである単純合成 I 桁橋について、関連する設計条件を示す。

表-2 検討対象とした橋梁

形式・幅員・支間	単純合成 I 桁		連続非合成 I 桁 ^{注1)}
	有効幅員 9.5m		
適用基準	支間 25m	支間 40m	支間 40m@3
S39 道示	SC25(S39)	SC40(S39)	CN40(S39)
S55 道示	-	SC40(S55)	-
H14 道示	-	SC40(H14)	-

注1) 疲労照査は合成断面および非合成断面の両方で実施する

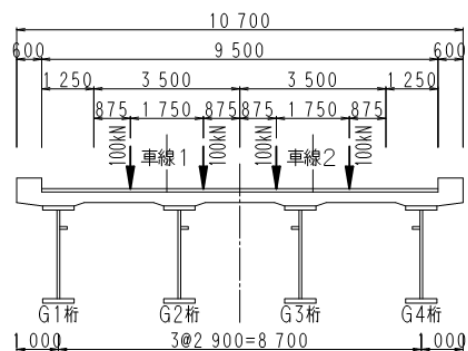


図-6 対象橋梁の断面図

戦-3 1 古い年代の鋼部材の材料・強度特性から見た
状態評価技術に関する研究

なお、非合成桁については、実際には合成桁として挙動する場合も考えられることから、その影響を把握するため照査段階において合成桁断面とした照査も実施した。線形条件は直橋(斜角90度)とした。幅員構成及び桁配置については全検討ケースで同一とし、橋梁部における幅員構成と標準的桁配置を参考に図-6の通りとした。なお、桁高は、標準的な桁高/支間長の範囲(=1/18~1/20)を踏まえて、合成

桁では、1/20(桁高:2.0m(支間長25mでは1.3m))、非合成桁では、1/18(桁高:2.2m)とした。ガセット継手の高さは全てのケースで下フランジ下面から270mmに統一した。計算時の応力の余裕率は10MPa以下とした。なお、平成14道示の場合の疲労照査においては、継手の変更等を行うことなく、一定応力振幅に対する応力範囲の打ち切り限界を用いた照査を満足していた。

表-3 主な設計条件

設計条件	設計基準	S39道示	S55道示	H14道示
活荷重		TL-20		B活荷重
設計	鋼道路橋の疲労設計指針	-		
	鋼道路橋設計ガイドライン(案)	-		
床版	設計床版厚(大型車交通量は2000台/日・方向以上)	180mm	250mm	
	床版重量	4.41kN/m ²	6.13kN/m ²	
許容応力度	たわみの許容値	L/500m	L ² /20,000m	
	鋼種	SS400、SM490	SS400、SM490Y	
	SM490	190kN/mm ²	190kN/mm ²	
	SM490Y	-	210N/mm ²	
	桁高/支間長	合成桁:1/20(桁高:2.0m(支間長25mでは1.3m)), 非合成桁1/18(桁高:2.2m)		

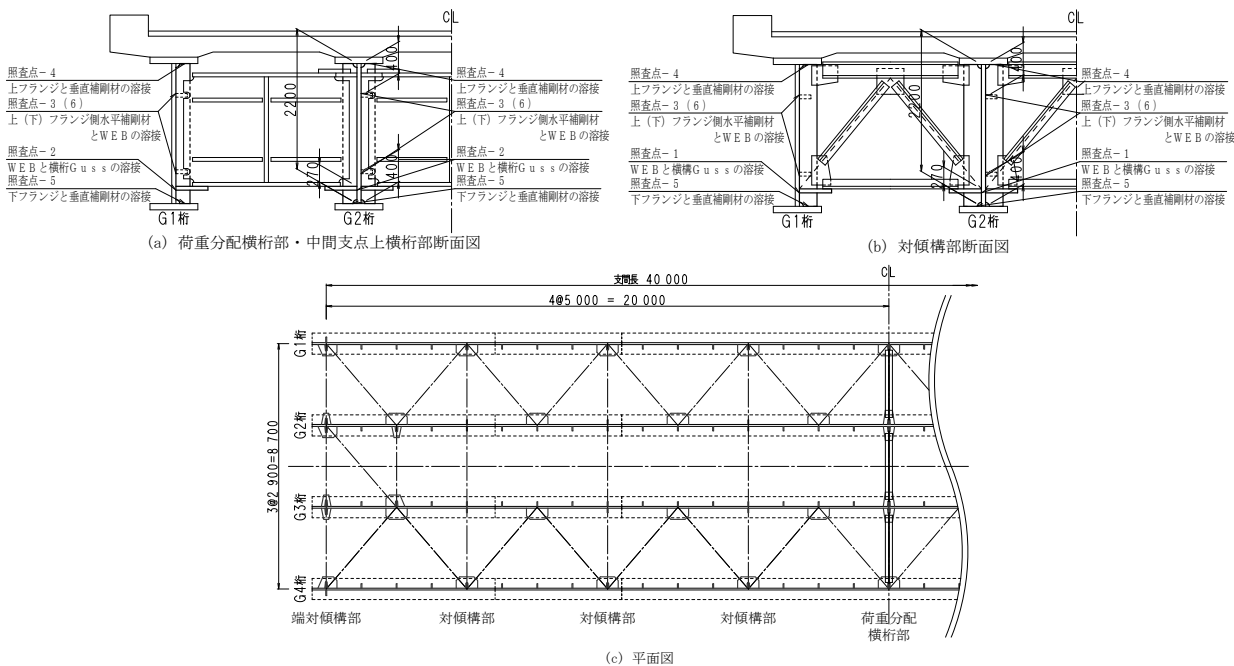
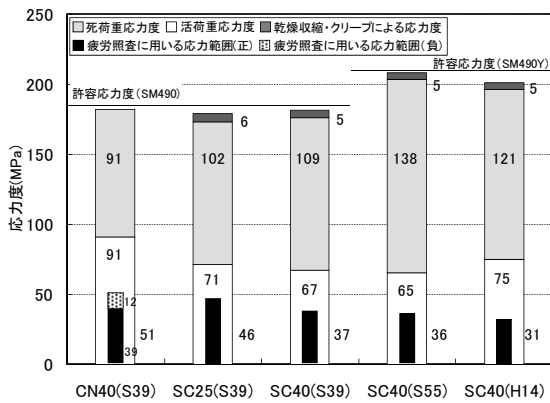


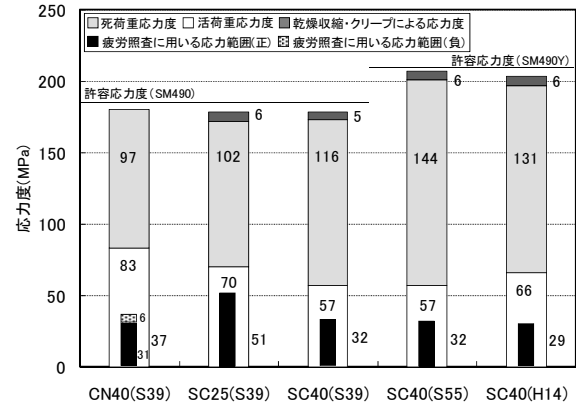
図-7 疲労照査対象部位

表-4 疲労照査部位と継手等級

区分	図7中の照査点番号	照査部位	継手構造	継手等級	打ち切り限界(N/mm ²)	
					一定振幅応力	変動振幅応力
荷重分配横桁部	2	主桁ウェブと横桁ガセット溶接部	ガセット継手(面外)	G	32	15
	3	上フランジ側水平補剛材溶接部	ガセット継手(面外)	G	32	15
	4	主桁上フランジと垂直補剛材溶接部	荷重非伝達型十字溶接継手	E	62	29
	5	主桁下フランジと垂直補剛材溶接部	荷重非伝達型十字溶接継手	E	62	29
	6	下フランジ側水平補剛材溶接部	ガセット継手(面外)	G	32	15
	対傾構部	1	主桁ウェブと横桁ガセット溶接部	ガセット継手(面外)	G	32
3		上フランジ側水平補剛材溶接部	ガセット継手(面外)	G	32	15
4		主桁上フランジと垂直補剛材溶接部	荷重非伝達型十字溶接継手	E	62	29
5		主桁下フランジと垂直補剛材溶接部	荷重非伝達型十字溶接継手	E	62	29
6		下フランジ側水平補剛材溶接部	ガセット継手(面外)	G	32	15
その他		3	上フランジ側水平補剛材溶接部	ガセット継手(面外)	G	32
	4	主桁上フランジと垂直補剛材溶接部	荷重非伝達型十字溶接継手	E	62	29
	5	主桁下フランジと垂直補剛材溶接部	荷重非伝達型十字溶接継手	E	62	29
	6	下フランジ側水平補剛材溶接部	ガセット継手(面外)	G	32	15

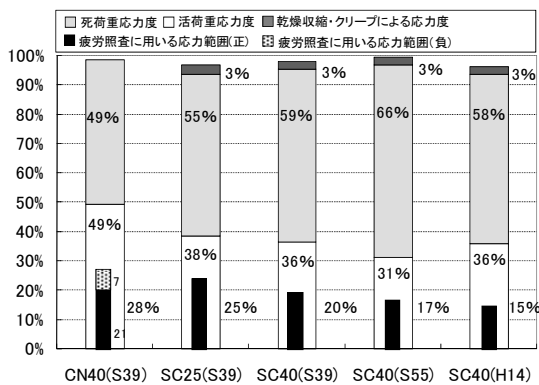


(a) G1 桁

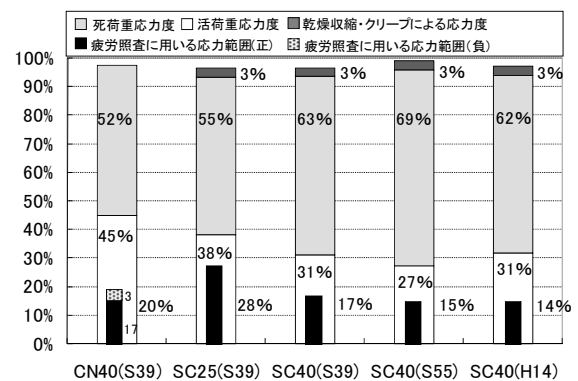


(b) G2 桁

図-8 支間中央下フランジの設計応力度および応力範囲



(a) G1 桁



(b) G2 桁

図-9 支間中央下フランジの許容応力度に占める設計応力度および応力範囲の割合

3. 1. 2 疲労照査部位と照査項目

図-7 に支間長 40m の基本ケースにおける疲労照査対象部位を示す。表-4 に図中の照査対象部位に対する継手等級一覧を示す。

3. 2 検討結果

3. 2. 1 疲労照査結果

図-8 に、各橋梁における、外桁及び内桁支間中央下フランジ（連続桁は側径間中央）の設計死・活荷重応力度と疲労照査に用いる最大応力範囲（以下、応力範囲）について整理した結果を示す。図-9 に、同一部位の設計断面力と応力範囲について、設計断面力の比率で整理した結果を示す。ここで、応力範囲とは、疲労設計荷重に対する最大応力と最小応力の絶対値に活荷重補正係数（3.0（支間長 40m の単純合成桁）、2.9（支間長 25m の単純合成桁）、2.0～3.0（連続非合成桁））、衝撃の影響、構造解析係数（0.8）を考慮した値である。なお、連続非合成桁のケース CN40(S39 道示)については、合成桁として疲労照査した際の応力範囲で整理した（正曲げ部：床版の合成考慮、負曲げ部：床版の鉄筋のみ考慮と

した）。また、今回、等支間割としており、中央径間に比べ側径間の曲げモーメントが卓越していることから側径間の支間中央の値を比較した。

支間長 40m の場合について、設計基準に着目すると、応力範囲は H14 道示では若干小さいものの、S39 道示と S55 道示では差が見られず、3 基準間で大きな差は見られない。H14 道示と S55 道示については許容応力度は同じであるが、設計断面力と許容応力度との余裕量の取り方が若干異なってしまったため、必ずしも前述の基準の違いによる影響によるものかどうか必ずしも明確でない。

次に、設計基準を S39 道示として、支間長や桁形式を変えた場合について着目する。支間長 25m

(SC25(S39)) とした場合、死荷重応力比率が相対的に小さくなることから、応力範囲は設計活荷重応力度に対して G1 桁では 65%、G2 桁では 73% と大きくなっている。また、3 径間連続非合成桁 (40m@3) の場合、同一支間長の単純桁と比較して、死荷重応力比率が小さくなり、結果的に応力範囲も単純桁と比較して大きくなっている。なお、図中に示したよ

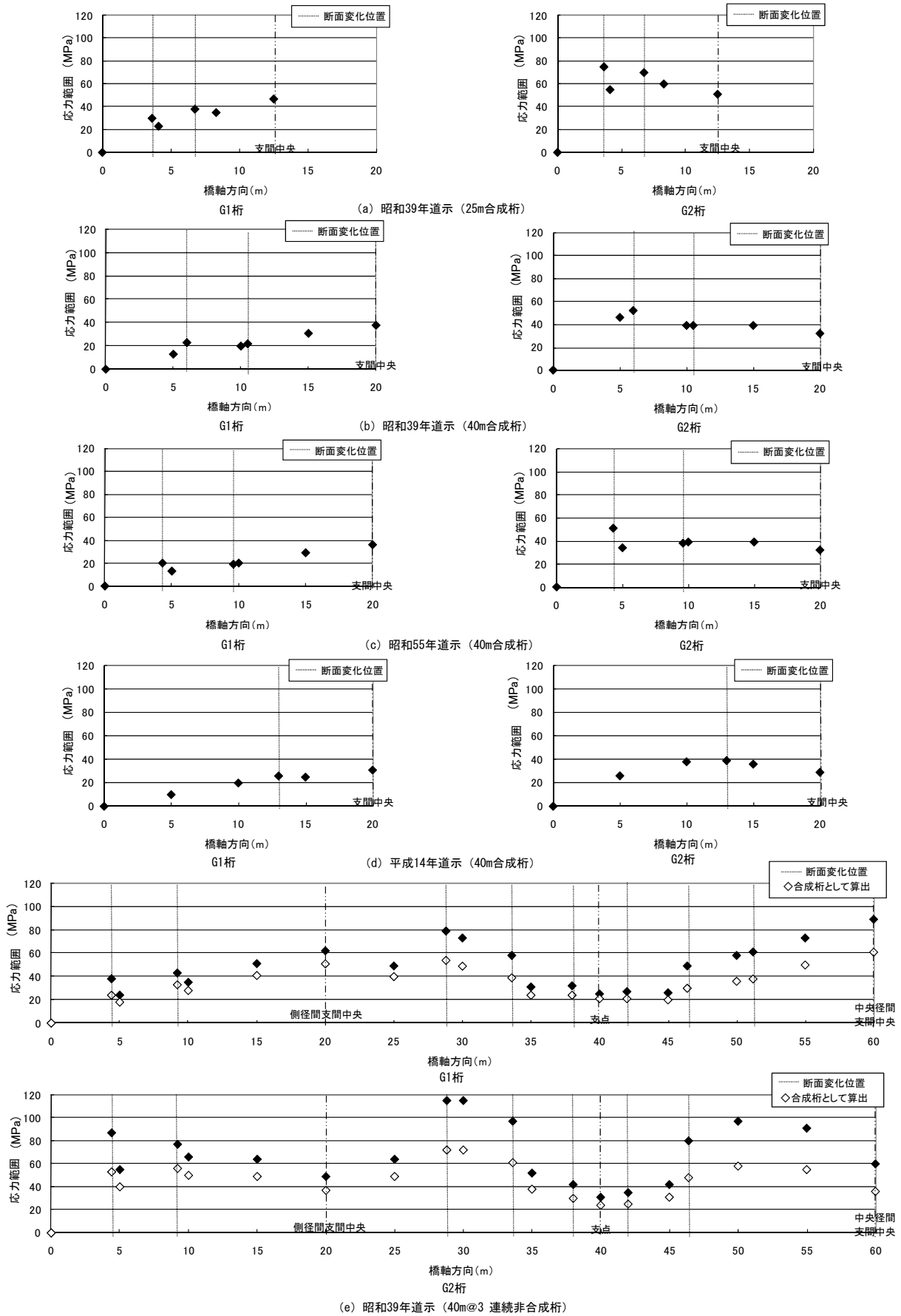


図-10 下フランジにおける応力範囲の橋軸方向分布

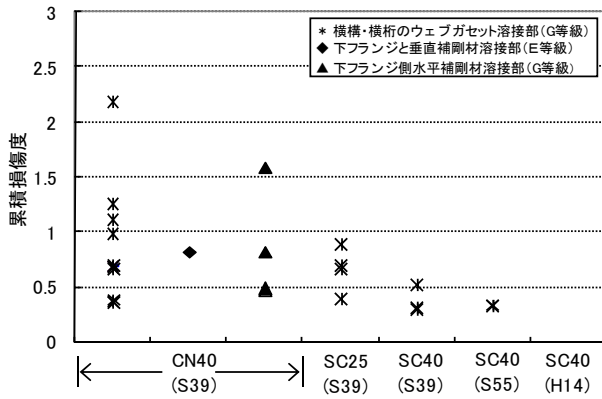


図-11 各疲労照査部位の累積損傷度

うに疲労照査の場合には、負曲げ側の振幅についても考慮することから、単純桁の場合と比べて、負曲げによる振幅分も厳しい結果となる。

図-10 に、各橋梁の外桁及び内桁における、疲労設計用活荷重に対する下フランジの応力範囲の橋軸方向分布について整理した結果を示す。プロットした点は、横桁位置と、断面変化位置（応力的に厳しい側）を抽出している。内桁の方が応力範囲は大きい結果となった。

断面変化位置との関係では、ちょうど境界部分で応力範囲の厳しい部位が見られており、支間中央の状況のみでは耐久性の評価は困難であることがわかる。特に、連続桁においては各部位の応力範囲を適切に評価する必要がある。

連続非合成桁については、図中に桁断面を合成とした場合の照査結果を併せてプロットしている。合成断面と仮定して疲労照査を行う場合、応力範囲は85～60%程度まで小さくなる結果となった。

図-11 に、各橋梁の疲労照査部位について、応力範囲が一定振幅応力に対する応力範囲の打ち切り限界を超えた部位、すなわち累積損傷度を考慮した照査が必要になる部位についてのみ、累積損傷度を示す。H14 道示では打ち切り限界を超える部位はなかった。なお、全ケースにおいて継手の変更は行っていない。累積損傷度 D は文献⁴⁾に従い、次式により計算した。

$$D = \sum_i D_i$$

D_i : 車線 i に対する疲労設計荷重の移動荷重による累積損傷度

$$D_i = \sum_j (nt_i/N_{ij})$$

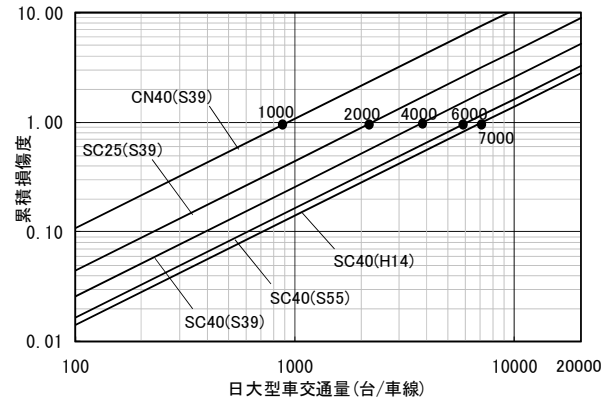


図-12 累積損傷度と大型車交通量の関係

nt_i : 設計で考慮する期間に考慮する疲労設計荷重の
の載荷回数

N_{ij} : 疲労設計曲線より求められる σ_{ij} に対応する
疲労寿命

$$nt_i = ADTT_{SLi} \cdot \gamma_n \cdot 365 \cdot Y$$

$ADTT_{SLi}$: 一方向一車線（車線 i）当たりの日大型車交通量
（ここでは2000台としている）

γ_n : 頻度補正係数（ここでは0.03としている）

Y : 設計で考慮する期間(年)

（ここでは100年としている）

$$ADTT_{SLi} = ADTT/n_L \times \gamma_L$$

$ADTT$: 一方向当たりの日大型車交通量

n_L : 車線数

γ_L : 車線交通量の偏りを考慮するための係数

（ここでは1.0としている）

$$N_{ij} = 2 \times 10^6 \cdot (\Delta\sigma_f \cdot C_R \cdot C_t)^3 / \Delta\sigma_{ij}^3$$

$\Delta\sigma_{ij}$: 車線iに対する疲労設計荷重一組の移動荷重に
よって得られるj番目の応力範囲

$\Delta\sigma_f$: 直応力に対する200万回基本許容応力範囲

C_R : 平均応力の影響を考慮して基本許容応力範囲及び
び打ち切り限界を補正するための係数

$$C_R = 1.00 \quad (-1.00 < R < 1.00)$$

$$C_R = 1.30(1.00 - R)/(1.60 - R) \quad (R \leq -1.00)$$

$$C_R = 1.30 \quad (R > 1.00)$$

R : 応力比 $R = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$

σ_{\min} : 最小応力度 σ_{\max} : 最大応力度

C_t : 板厚の影響を考慮して基本許容応力範囲及び打
ち切り限界を補正するための係数

$$C_t = \sqrt[4]{25/t} \quad t: \text{板厚(mm)} \quad (\text{ここではすべて} 1.00)$$

S39 道示の場合の連続非合成桁 CN40(S39)の場合
が相対的に厳しい部位が存在することがわかる。

図-12 に各橋梁において累積損傷度が最大となった疲労照査部位について大型車交通量との関係を整理した結果を示す。なお、累積損傷度が最大となった部位は、すべてウェブガセット溶接部であった。累積損傷度に関して、前述の傾向と同じであるが、S39 道示の連続桁 CN40(S39 道示)の場合が最も厳しく、次いで、SC25(S39 道示)、SC40(S39 道示)となっている。累積損傷度 1.0 を超える日大型車交通量は、それぞれ約 1000, 2000, 4000 台/車線となっている。

以上、限定されたケースであるが、支間長 40m 程度の単純合成桁では、適用基準による差は比較的小さいものの、同一支間長の連続非合成桁では相対的に厳しい結果となった。なお、仮にウェブガセット溶接部について、名阪国道山添橋のディテール (H' 等級) の場合、累積損傷度が約 4.6 倍に上がる。今回の検討では桁高支間比や幅員構成を同一条件としているが、桁剛性や疲労照査荷重の載荷位置と桁位置との関係も考えられるので、これらの影響についても確認する必要があると考えられる。

4. まとめ

古い年代に建設された撤去橋梁 8 橋から採取した鋼材を対象として、各種試験を行い材料・強度特性について検討を行った。静的強度については、面内方向は一部を除き JIS 規格値を満足していたが、板厚方向においては、強度が低いケースが見られた。じん性については、0°C におけるシャルピー吸収エネルギーが、SM 鋼材 B 種の現行 JIS 規格値を満足していた。

また、疲労設計導入以前に設計された既設鋼 I 桁橋を対象として疲労照査を行い、基準や構造条件の違いが疲労耐久性に及ぼす影響について検討を行った。限定されたケースであるが、支間長 40m の単純合成桁を基本として比較した結果、設計基準の違いによる累積損傷度の違いが見られるとともに、特に昭和 39 年道示による連続桁の場合には、活荷重応力比率が大きくなり、かつ交番する部位も存在するなどから、照査部位によっては累積損傷を考慮した疲労照査に関して日大型車交通量約 1000 台/車線の条件で満たさない場合があることがわかった。

参考文献

- 1) 西村, 藤井, 湊: 最新土木材料(第 2 版), 森北出版 1988
- 2) 久保, 南, 豊田: 建築鉄骨用鋼材の弾塑性破壊靱性簡易推定方法の開発, 溶接構造シンポジウム 2004 講演論文集 2004
- 3) 社団法人 日本溶接協会: 溶接継手のぜい性破壊発生及び疲労き裂進展に対する欠陥評価方法 WES 2805, 2007
- 4) 日本道路協会: 鋼道路橋の疲労設計指針, 2002
- 5) 建設省道路局国道課: 鋼道路橋数量集計マニュアル(案), 建設物価調査会, 1996

Research on structural condition evaluation of existing aged steel bridge members focusing on material/mechanical property

Abstract : The majority of highway bridges in Japan were constructed during the 1950s–1970s, which coincides with high-economic growth period. With recent rapid increase of aged bridges older than 50 years, structural condition evaluation techniques for those bridges should be established for the sake of preventive maintenance. This research aims at assessing the material/mechanical properties of old structural steels in existing bridges based on forensic approach to prevent steel members from serious damage such as brittle fracture, and also developing fatigue assessment techniques of existing steel I-girders designed in the past design code.

Key words : existing steel bridge, maintenance, material/mechanical property, brittle fracture, fatigue durability