

新都市社会技術融合創造研究会

鋼橋の疲労亀裂調査の効率化に関する研究

横桁フランジ貫通構造とその問題点について



日本橋梁建設協会

設計小委員会 小西日出幸

分配横桁の主桁取合い構造の変遷

分配横桁の設置に対する規定

格子桁として鈹桁構造を設計する場合、荷重分配横桁を配置する。道路橋示方書昭和48年版に以下のように規定され、現行示方書でも同じ記述となっている。

床版が3本以上のけたで支持され、かつ、けたの支間が10mをこえる場合には、それらのけたの間に剛な荷重分配横げたを設けなければならない。荷重分配横げたの間隔は20mをこえてはならない。

分配横桁の主桁取合い構造の変遷

分配横桁に求められた構造

横桁が内桁の主桁位置で連続性を確保すること。

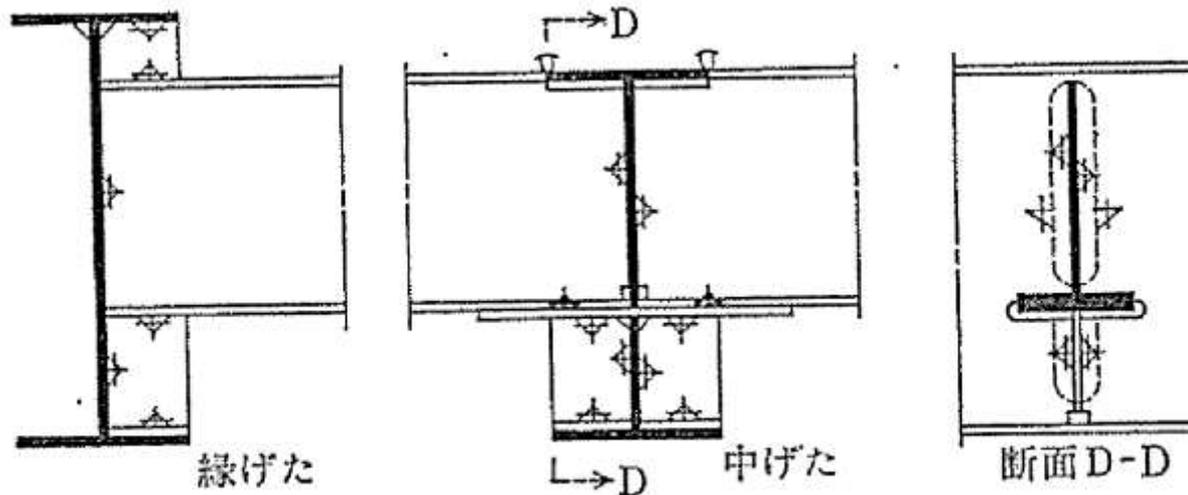


横桁フランジを貫通する構造が、最も連続性が高く、望ましい構造と考えられていた。

昭和40年代から50年代にかけて、近年では疲労き裂損傷が多く報告されて、使用することのなくなった横桁貫通構造が一般的に使われていた。

分配横桁の主桁取合い構造の変遷

分配横桁の下フランジを貫通させて、連続性を確保し、主桁フランジと(片側または両側を)溶接して固定する構造はドイツ文献構造からの模倣か？

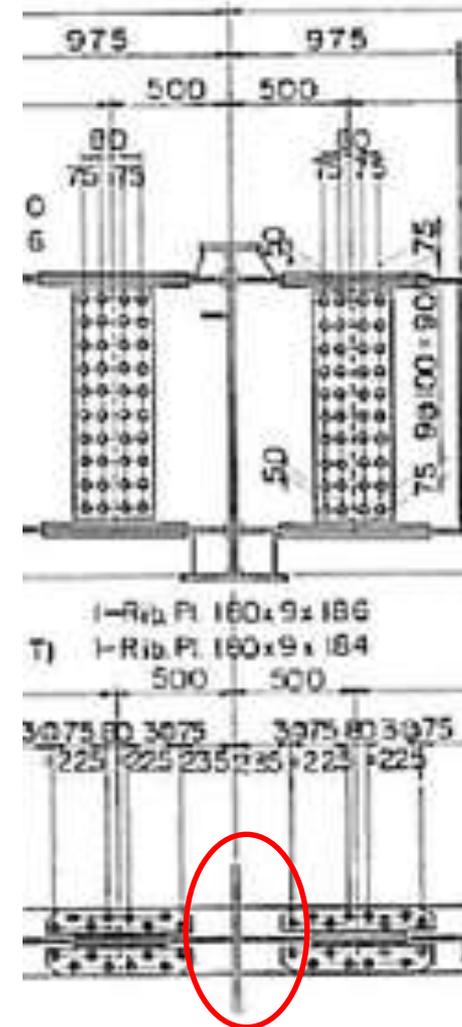
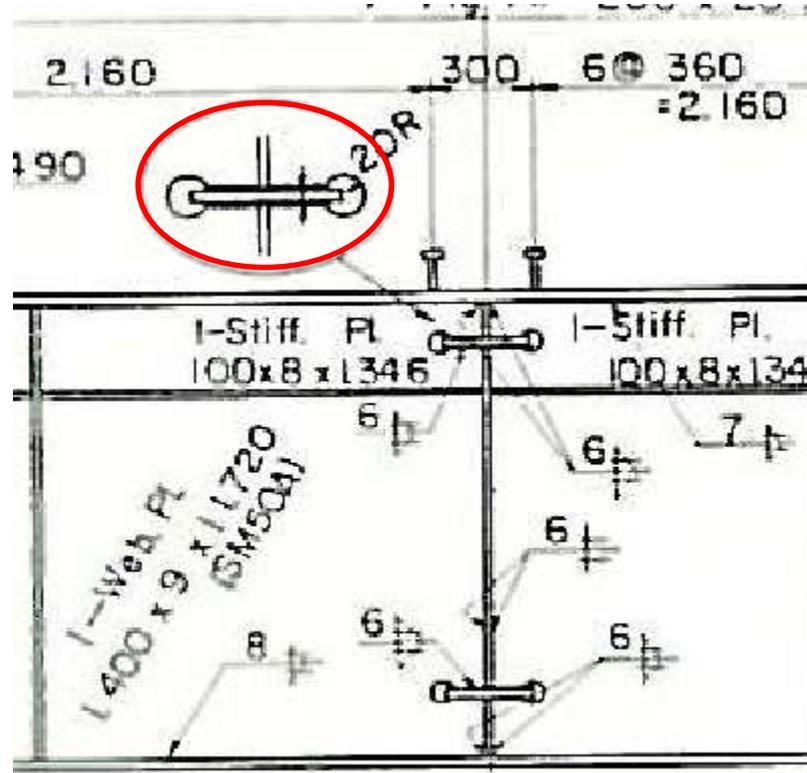


(c-1) 荷重分布横げた

W.Tischerの文献(1952)からの引用【小西一郎:鋼橋 設計編 I、昭和50年】より

分配横桁の主桁取合い構造の変遷

各種標準類に見られる旧構造



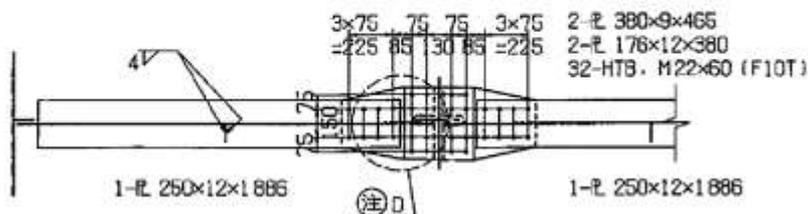
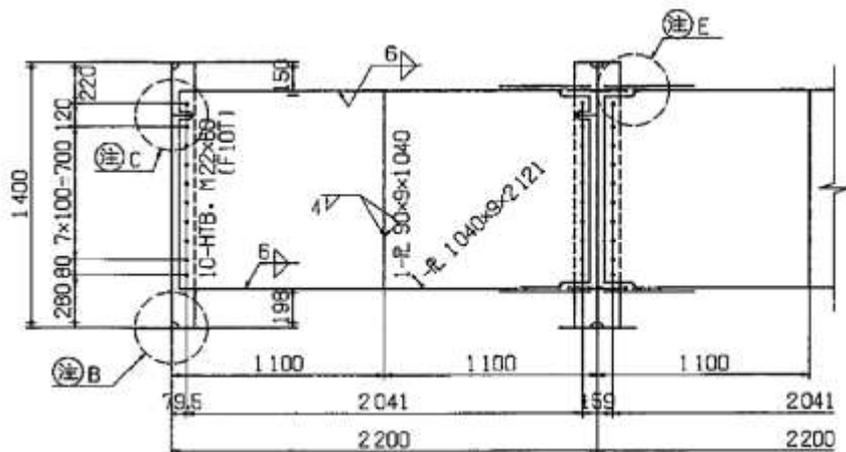
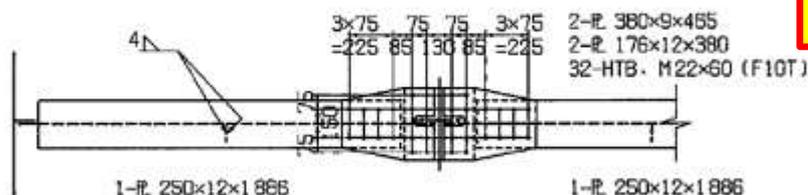
阪神高速道路(昭和42年)、首都高速道路(昭和45年)の標準図では横桁フランジ貫通構造が示されている。

分配横桁の主桁取合い構造の変遷

各種標準類に見られる旧構造

建設省標準図(昭和46年)

横げた縮尺 1:50



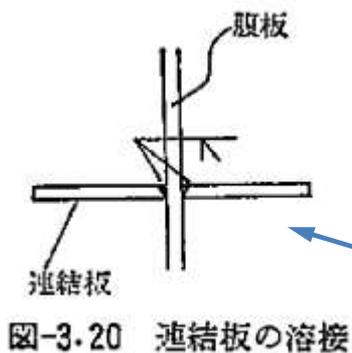
横桁貫通構造ではなく、主桁腹板にコネクションプレートが溶接される構造となっている。

分配横桁の主桁取合い構造の変遷

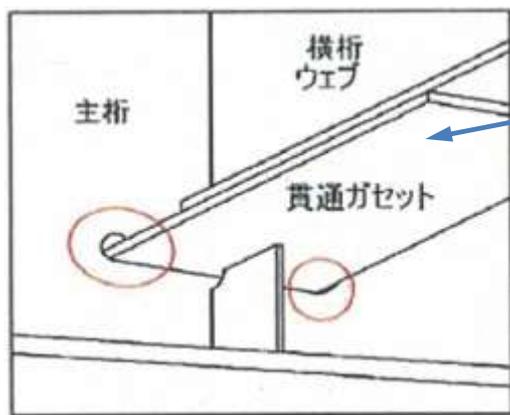
各種標準類に見られる旧構造

鋼道路橋設計便覧(昭和55年)

横桁フランジ貫通構造



	(イ) 連結板を用いる方法	(ロ) ブラケット法	(ハ) スリット法
連結構造			
利点	<ul style="list-style-type: none"> ●現場施工が容易 ●主げたの幅は小さく輸送は容易 	<ul style="list-style-type: none"> ●応力の伝達は確実 ●継手剛度は大きい 	<ul style="list-style-type: none"> ●現場の施工が容易
欠点	<ul style="list-style-type: none"> ●上下フランジ各継手の応力分担が大きくなる。 ●床版型わく施工に不便 ●連結板の溶接に注意が必要 <p>採用例多い</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●ボルト本数が多くなる。 ●フランジに二軸応力が発生する。 ●主げたの幅が大きくなり輸送に不便 	<ul style="list-style-type: none"> ●スリット加工に手間がかかる。 ●上下フランジの各継手の応力分担が大きくなる。 ●主げたの幅がやや大きくなり輸送に不便 ●床版型わく施工に不便

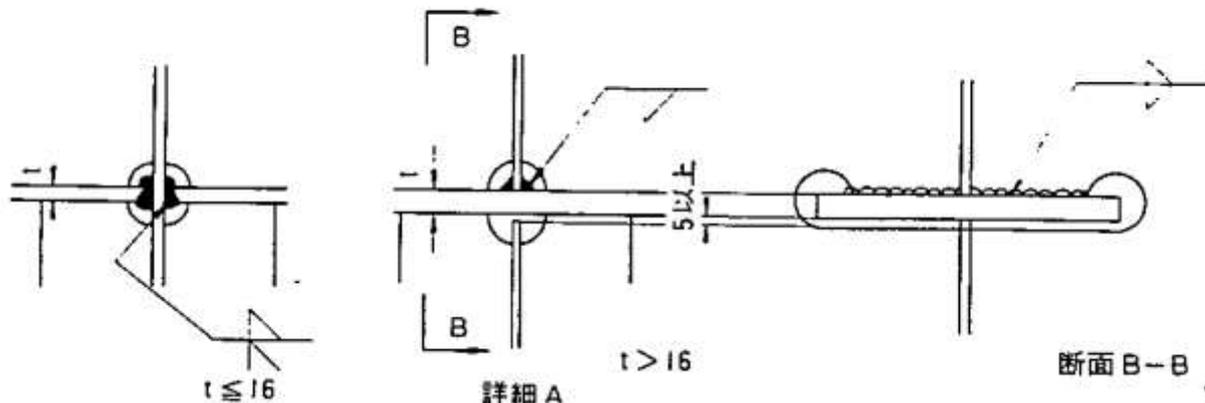


分配横桁の主桁取合い構造の変遷

各種標準類に見られる旧構造

日本橋梁建設協会 構造詳細の手引き(昭和50年代前半の過渡期か)

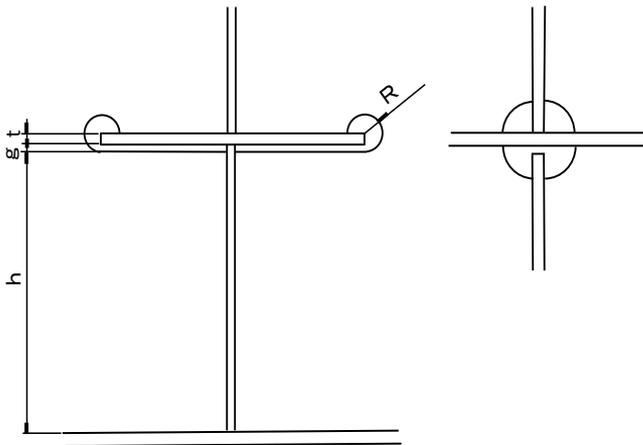
橋建の標準では、横桁フランジ厚が16mm以下の場合には主桁ウェブを貫通させず、開先をとって溶込み溶接を行う。フランジが16mmを超える場合は貫通させ、主桁フランジと反対側(内側)をすみ肉溶接し、その裏側は5mm以上のすきまを設けている。また溶接する側のまわし溶接を考慮してスカーラップを設けている。一般には、横桁フランジは16mm以下の場合が多いと考えられるので、貫通させないディテールを基本としているように思われる。



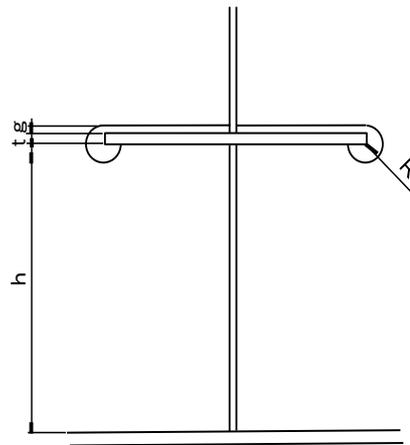
分配横桁の主桁取合い構造の変遷

橋建協での調査結果

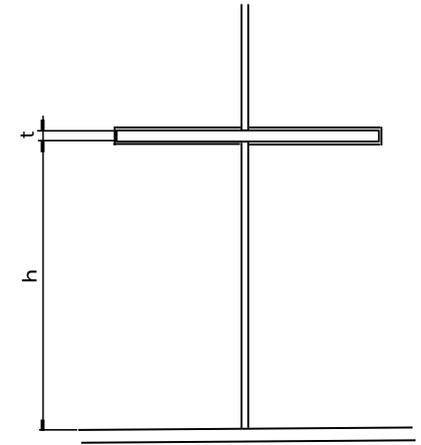
タイプA
上側溶接下側スリット



タイプB
下側溶接上側スリット



タイプC
スリットなしで溶接



日本橋梁建設協会内で1972～1974【昭和47～49年】年完工の連続鈹桁81橋を対象に調査したところ、タイプAが7例、タイプBが2例、タイプCが2例採用されていることが確認された。また山添橋のようにスリットありでスカーラップがないタイプやタイプCで両端スカーラップがあるタイプもある。

分配横桁の主桁取合い構造の変遷

当研究会での図面調査結果

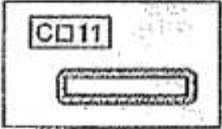
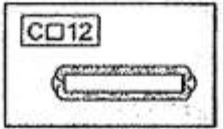
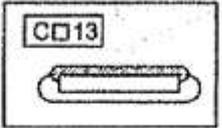
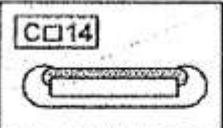
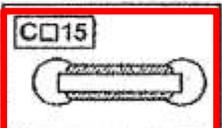
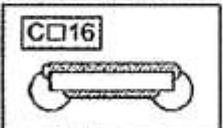
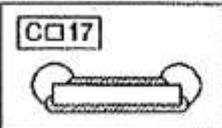
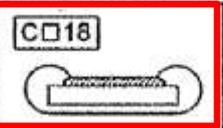
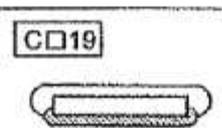
近畿管内**直轄橋梁**の内、横桁貫通構造が確認された橋梁が54橋、不明な橋梁が53橋あった。合計**107橋**となる。
54橋の建設年は昭和39年から昭和48年であった。

近畿管内の**自治体管理の橋梁**においても、この年代に架けられた多くの橋梁が、横桁貫通構造が採用されていると考えられる。可能性のある橋梁として**624橋**が抽出された。(大型車交通量 $\geq 2,000$ 台/日)

分配横桁の主桁取合い構造の変遷

当研究会での調査結果

54橋の詳細
構造タイプの
内訳

C□11		4橋	C□12		2橋
C□13		6橋	C□14		
C□15		14橋	C□16		
C□17			C□18		21橋
C□19		5橋		詳細不明 2橋	

阪神高速タイプ

橋建タイプ

設計便覧タイプ

分配横桁の主桁取合い構造の変遷

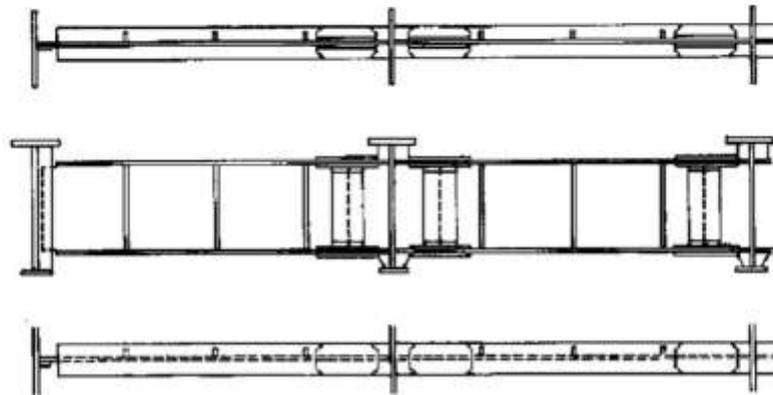
阪神高速道路 昭和55年設計基準

〔解説〕

- 1) 荷重分配横桁は主桁間での不等沈下をできるだけ小さくするため、一般に用いられているトラス形式の対傾構より剛性の大きい充腹構造とするように規定した。

この荷重分配横桁のフランジは、格子桁の特性上、横桁フランジを連続させる構造が好ましいが、主桁腹板を貫通すると主桁腹板の切欠き部の応力集中の問題、あるいは製作加工上の問題があるので、図一解2.2.3 に示す継手構造を標準とした。その際、フランジ幅は横桁連続の条件を満足するように定めなければならない。

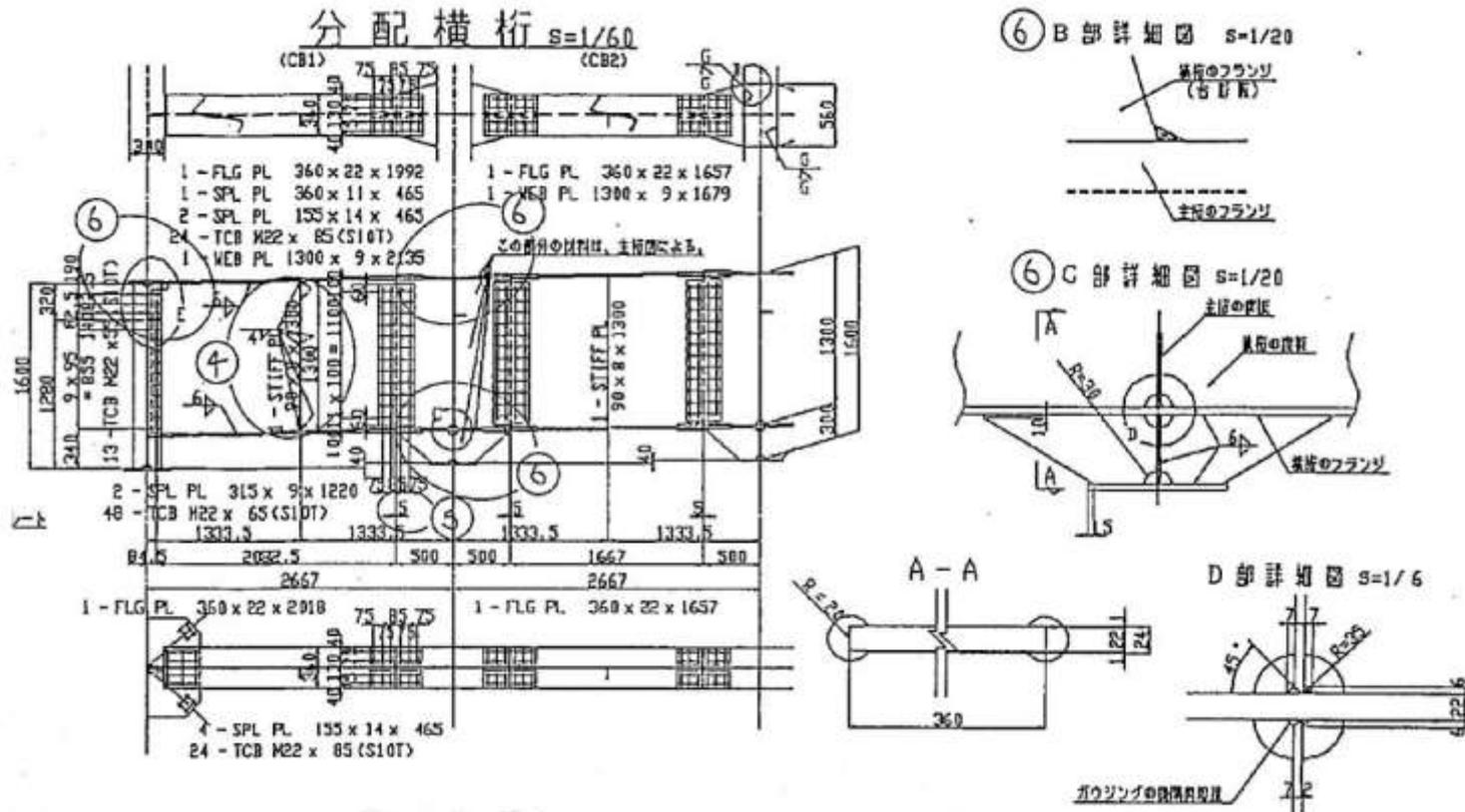
なお、耳桁が曲がっている場合の主桁と分配横桁の取付け構造は、耳桁においても中桁と同様とする。



図一解2.2.3 荷重分配横桁の主桁への取付け

分配横桁の主桁取合い構造の変遷

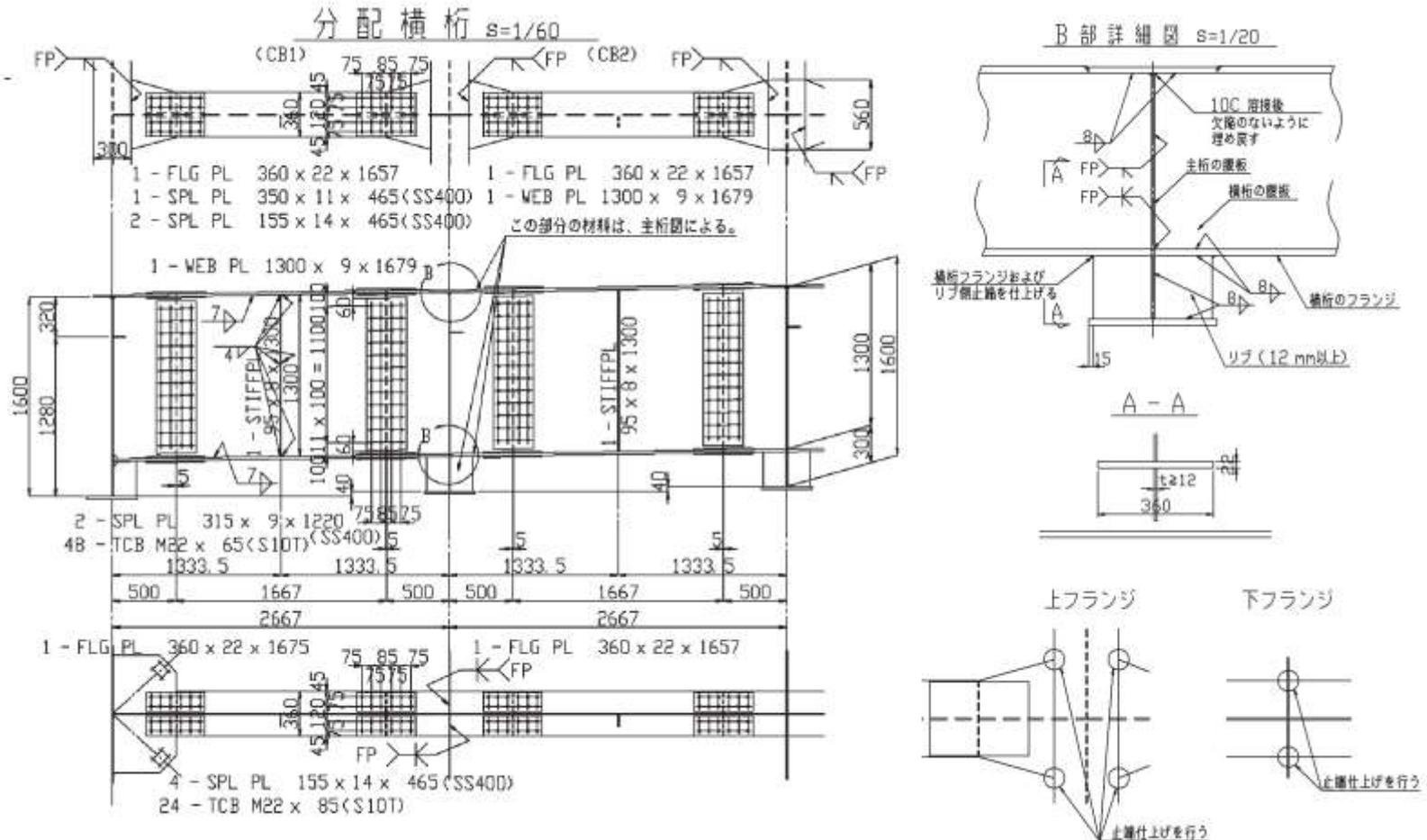
首都高速道路 平成6年標準図



まだ、貫通構造が採用されているが、実際には使用されなくなっていたようである。

分配横桁の主桁取合い構造の変遷

首都高速道路 平成15年標準図



疲労耐久性を向上させた構造例

分配横桁の主桁取合い構造の疲労

疲労損傷の顕在化

鋼橋の疲労(平成9年5月、日本道路協会)の序論の冒頭には、

「道路橋において疲労損傷が顕在化し始めたのは1980年(昭和55年)頃からであり、事例数、種類とも増加する傾向にある」

表-2.4.1 既存の疲労損傷の事例

と記載されている。

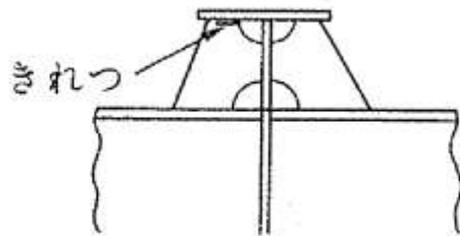
形 式	着目部位	損 傷 箇 所	本文中の参照項	
I げた 箱げた (RC 床版)	I げた	主げた端部	①下フランジと切り欠いたウェブとの溶接部	4.6.3~4
		横構ガセットプレート	②支点上横構ガセットプレート取付部	参考資料
			横構ガセットプレート取付部	参考資料
		垂直補剛材, 対傾構ガセット, 横げた端部	③対傾構, 横げたの取付け垂直補剛材上端溶接部 対傾構弦材取付けガセットの溶接部, 横げた端部 リベット孔部, <u>横げたフランジの貫通部</u>	4.1 参考資料
		端横げた端部	④端横げたの端部, 支点上垂直補剛材の上下端溶接部	参考資料
		枝げた	⑤主げたとの溶接部, 横げたとの連結部(リベット孔)	参考資料
	下フランジ板継ぎ部	⑥下フランジ板継ぎ部の突合せ溶接部	参考資料	
共 通	ソールプレート	⑦支承ソールプレートの溶接部	4.2	

分配横桁の主桁取合い構造の疲労

「鋼橋の疲労」での損傷報告

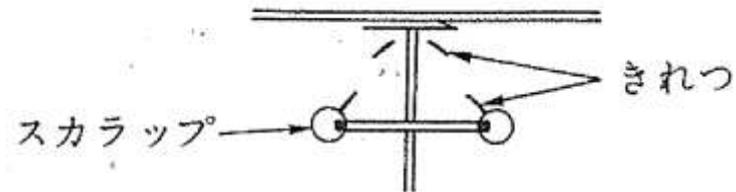
昭和44年8月に供用開始された、RC床版鋼Iけた橋が連続する路線で昭和58年、59年（供用後14年経過）に調査した結果。全格点の4%にき裂損傷が発見された。その内、タイプAが約80%、タイプD（貫通構造）が約20%であったと報告されている。

タイプ A



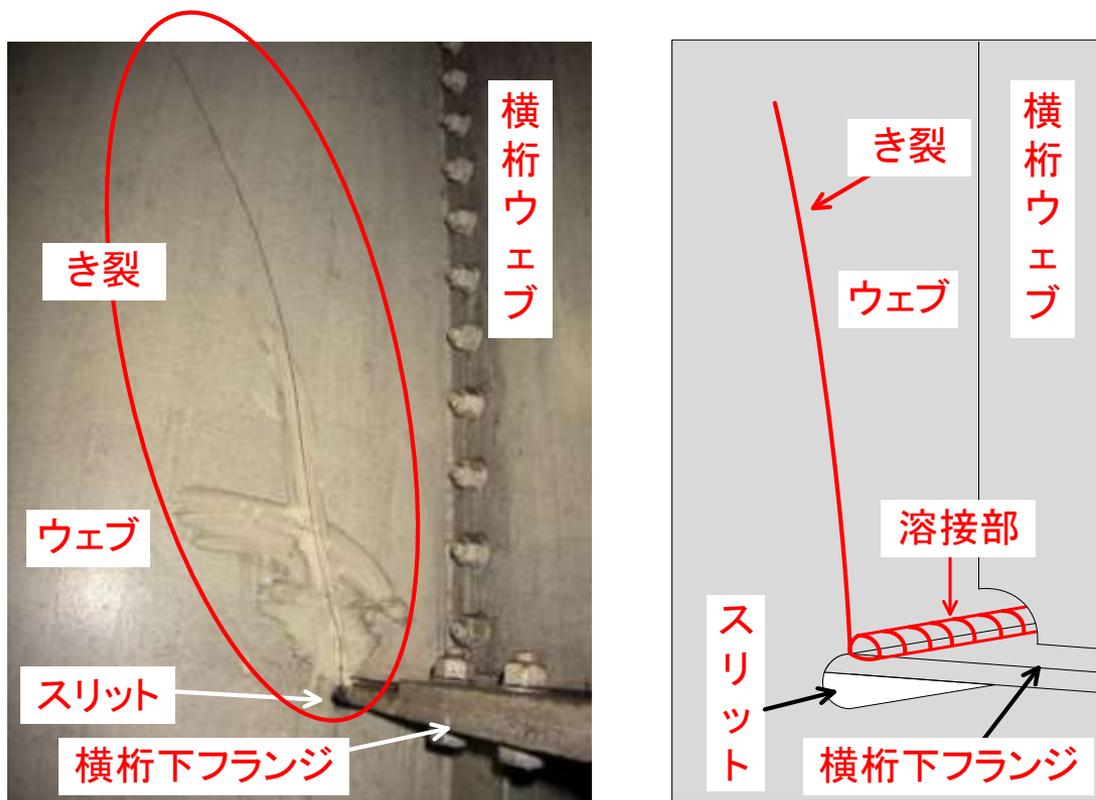
分配横げた

タイプ D



横桁フランジ貫通構造の疲労問題

山添橋での損傷報告



桁貫通構造の損傷事例（奈良国道ホームページより）

山添橋の事例 1971【昭和46】年完成、平成18年発見（橋齢35年）

横桁フランジ貫通構造の疲労問題

当研究会で研究対象とした姫路大橋の事例

姫路大橋の諸元

国道2号

単純合成鋼桁橋上下線各6連、支間41.2m、幅員18.65m

主桁間隔3m、分配横桁は支間に3本配置

1972【昭和47】年完成

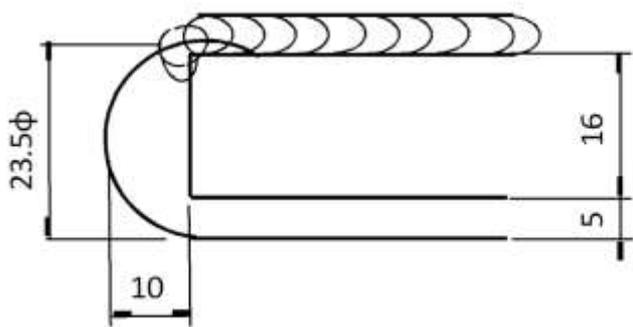
交通量約12万台/日、大型車両混入率=21.2%(平成22年)



横桁フランジ貫通構造の疲労問題

当研究会で研究対象とした姫路大橋の事例

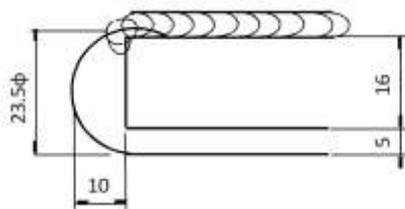
姫路大橋の貫通ディテール(下フランジ)



横桁フランジ貫通構造の疲労問題

当研究会で研究対象とした姫路大橋の事例

姫路大橋の貫通ディテール
(下フランジ)

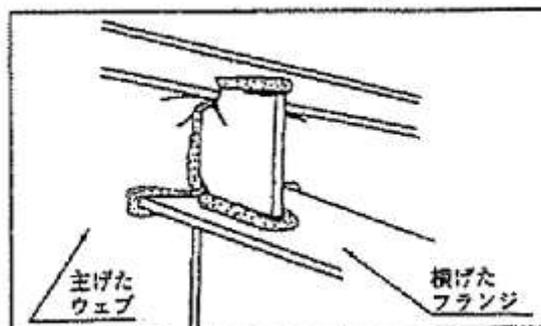


試験体製作時(左写真)には、回し溶接を施工したが、実橋(上写真)では回し溶接はできていないとみられた。

横桁フランジ貫通構造の疲労問題

姫路大橋でのき裂調査結果

パターン⑩



注1)横桁貫通構造部もこれに含む。

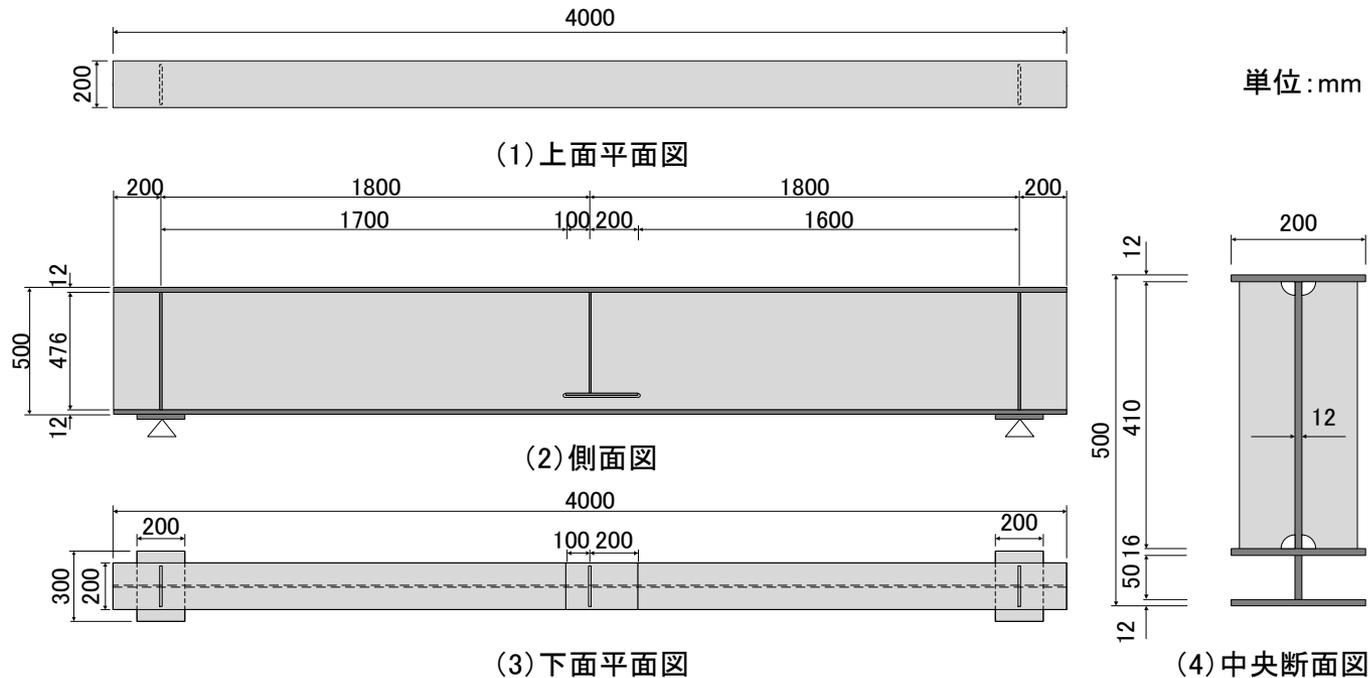
注2)上フランジ:U、下フランジ:Lを末尾に付ける。

き裂パターン⑩ 塗膜割れおよびき裂箇所数(平成24年度橋梁点検結果より)

総数	MTき裂あり	MTき裂なし	MT未実施	MT実施率	MTき裂率
877	17	46	814	7%	27%

横桁フランジ貫通構造の疲労問題

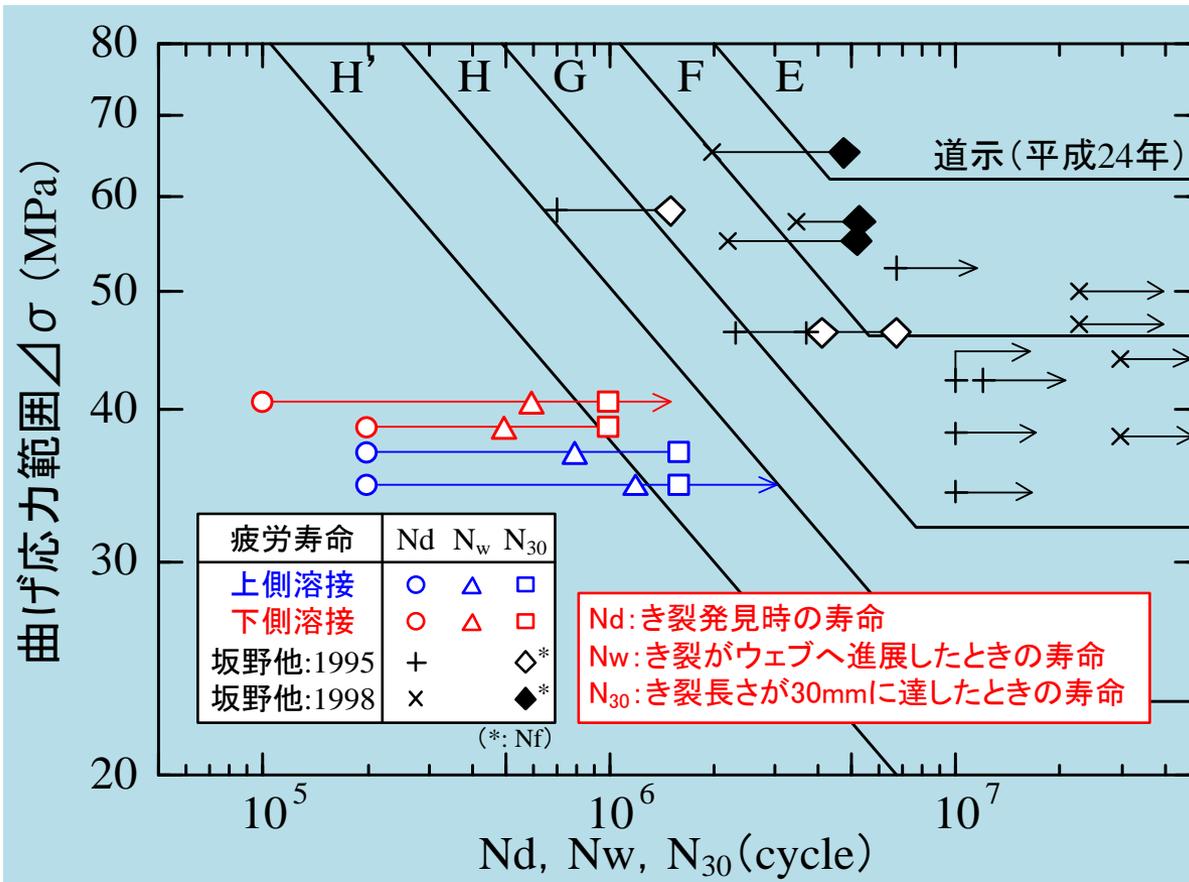
試験体による疲労試験



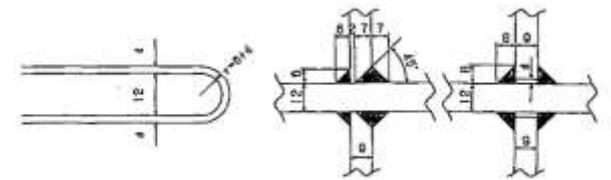
横桁フランジ貫通構造の疲労問題

試験体による疲労試験結果

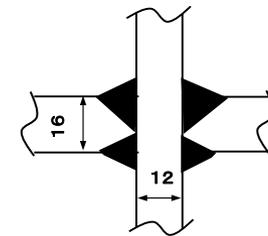
疲労寿命(曲げ応力)



+ : 全周すみ肉または部分溶込み溶接 (道示 H等級)



x : フランジ貫通せずウェブにFP溶接 (道示 G等級)



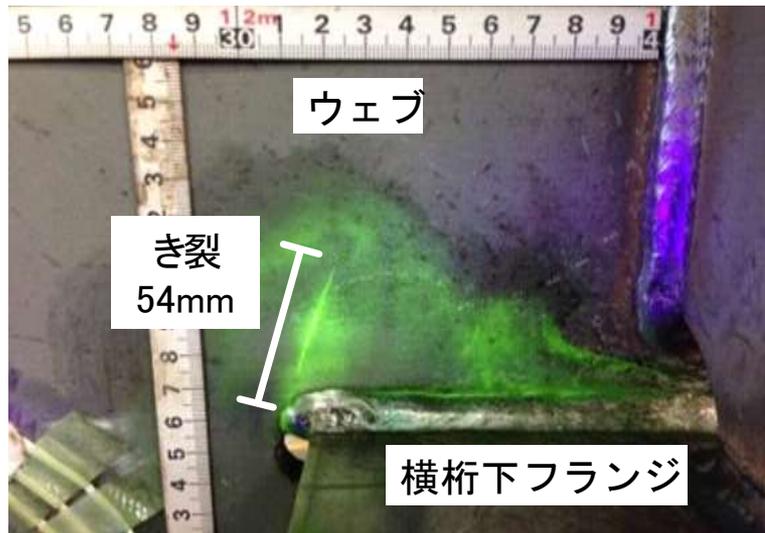
Nd : H'等級の1/4~1/6
 Nw : H'等級程度
 N30 : H'等級を満たす

横桁フランジ貫通構造の疲労問題

試験体による疲労試験結果

疲労亀裂の進展

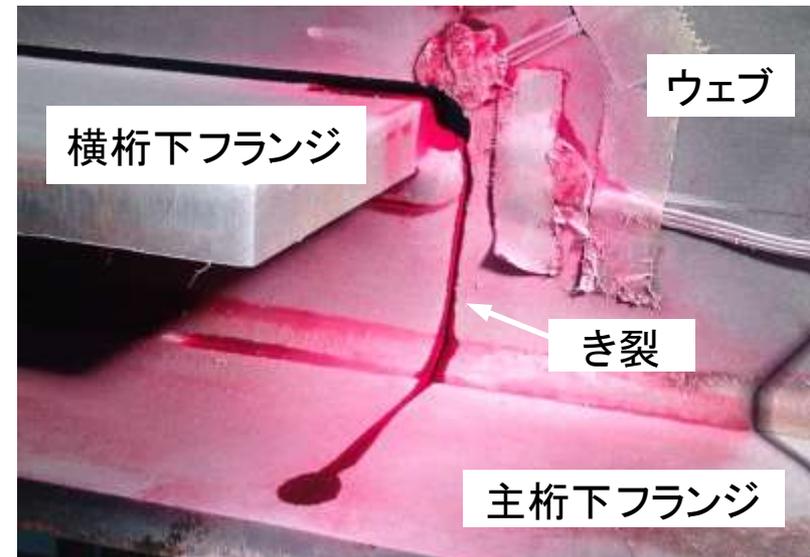
フランジ上側溶接



き裂進展状況 (N=250万回)

亀裂は斜め上（主応力方向に直角方向）に進展。この場合、中立軸近傍で進展は止まる。

フランジ下側溶接



破断状況拡大 (N=326万)

亀裂は真下に進展し下フランジを貫通するため、非常に危険。

横桁フランジ貫通構造の疲労対策

分配横桁のフランジ貫通構造は昭和40年代によく使われた構造で、疲労き裂発生の可能性が高い。特に、フランジ下側を溶接している構造では、き裂が下フランジを貫通するように進展する可能性があり、より危険な構造と言える。



き裂がすでに発生している箇所は補強を、

き裂が発生していない箇所については予防保全を実施する必要があると考えます。