

**道路橋示方書の変遷  
一床版構造の設計法の変遷をトピックに一**

**玉越 隆史**  
**土木研究所上席研究員**

# 道路橋示方書の変遷

一床版構造の設計法の変遷をトピックに一

国立研究開発法人 土木研究所  
構造物メンテナンス研究センター

上席研究員 玉越 隆史



# I 経緯・位置づけ・役割

# 鋼上部構造の技術基準の変遷(1)

年次	基準名	内容
T15	道路構造に関する細則	許容応力度(及び割増)の規定 部材の細長比, 鋼材は建築用鋼(St39)
S14	鋼道路橋設計製作示方書案	支間長120m以下, リベット接合 <u>SS41鋼材</u>
S31	鋼道路橋設計製作示方書	<u>荷重改訂 一等橋 TL14→TL-20</u> <u>二等橋 TL9→TL14</u>
S32	溶接鋼道路橋示方書	<u>溶接構造用鋼材SM41鋼材を規定</u> 合成応力に対する許容応力度を規定
S35	鋼道路橋の合成桁設計施工指針	単純合成桁を規定
S39	鋼道路橋設計製作示方書  溶接鋼道路橋示方書	支間長150mに拡大 <u>引張強さ50<sup>kg</sup>級の</u> 高張力鋼を規定 衝突荷重を新たに規定 鋼床版構造を規定 現場溶接の許容応力度(工場の90%)を規定
S41	鋼道路橋高力ボルト摩擦 接合設計施工指針	F9T、F11T 継手の設計, 施工, 検査を規定
S42	溶接鋼道路橋示方書追補	SM50Y, SM53, SM58鋼材を規定

# 鋼上部構造の技術基準の変遷(2)

年次	基準名	内容
S47	道路橋示方書 Ⅱ鋼橋編	支間長200mに拡大, <u>道路橋示方書がⅠ編～Ⅴ編に分冊</u> <u>アーチ, ケーブル, 鋼管構造, ラーメン構造を規定</u> 耐候性鋼材, 高力ボルト (F8T, F10T, F11T) , 床版規定の改定整備, 座屈関連規定の改定整備, TT-43
S55	道路橋示方書 Ⅱ鋼橋編	SM58鋼材の許容応力度改定, 板と補剛材の局部座屈の考慮, 高力ボルト改定(F8T, F10T), 鋼床版縦リブに対する疲労を考 慮した許容応力度
H2	道路橋示方書 Ⅱ鋼橋編	RC床版厚の改定(係数k1, k2) 斜張橋のケーブル安全率(3.5→2.5) 現場溶接部の検査と許容応力度の関係定義
H6	道路橋示方書 Ⅱ鋼橋編	<u>B, A活荷重(自動車荷重25tf)</u> 風荷重, 温度変化について改定 RC床版厚の設計曲げモーメントと床版厚規定改定
H8	道路橋示方書 Ⅱ鋼橋編	<u>適用板厚50mm→100mm</u> 溶接時の余熱温度判定法をCeq→Pcmに改定 耐震設計編改定に伴う改定 高力ボルトの耐力点法締め付けを規定

# 鋼上部構造の技術基準の変遷(3)

年次	基準名	内容
H14	道路橋示方書 Ⅱ 鋼橋編	疲労の影響を考慮 PC床版について規定 超音波探傷による内部きず検査の規定を充実
H24	道路橋示方書 Ⅱ 鋼橋編	疲労設計の基本的な考え方等について規定 鋼床版デッキプレート最小版厚を12→16mmに見直し 溶接箱形断面を有する部材を対象とした許容応力度を規定 無機ジンクを塗装する場合の高力ボルト摩擦接合継手のすべり係数の見直し等

# 鋼桁のたわみ制限及びその他制限値等の変遷

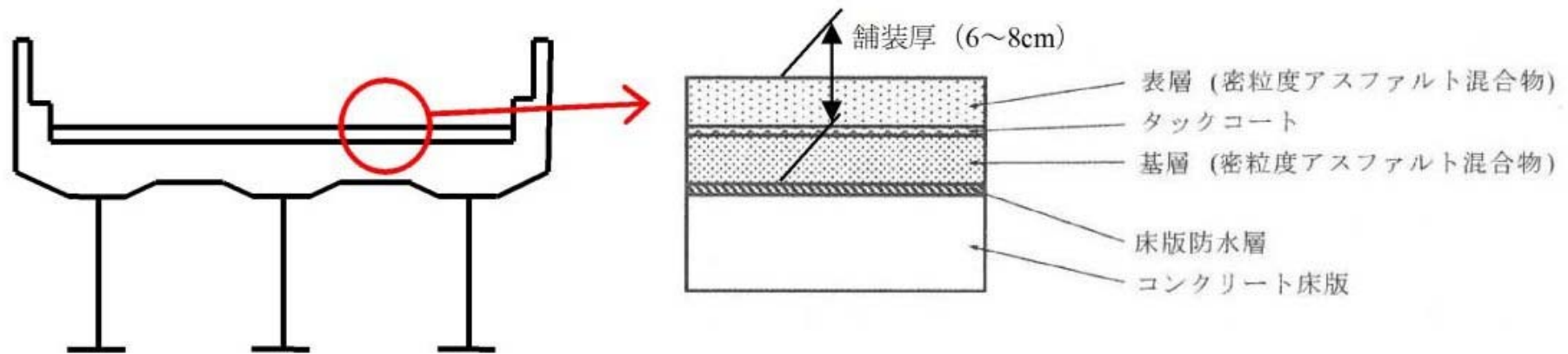
道路橋示方書におけるパラメータの変遷

設計条件		設計基準	S31・S32道示	S39道示	S55道示	H14道示
活荷重			TL-20			B活荷重
床版	設計床版厚(支間40m)		170mm	180mm	230mm	250mm
	床版重量		4.1kN/m <sup>2</sup>	4.5kN/m <sup>2</sup>	5.8kN/m <sup>2</sup>	6.1kN/m <sup>2</sup>
たわみの許容値(Lは支間長(m))			L/600m	L/500m	L <sup>2</sup> /20,000m	
主な鋼種 (許容応力度)			SS400(130N/mm <sup>2</sup> )	SM490(190N/mm <sup>2</sup> )	SM490Y(210N/mm <sup>2</sup> )	
桁高/支間長			単純合成桁: 1/15~1/22, 単純非合成桁: 1/18~1/20, 連続非合成桁: 1/18~1/27			

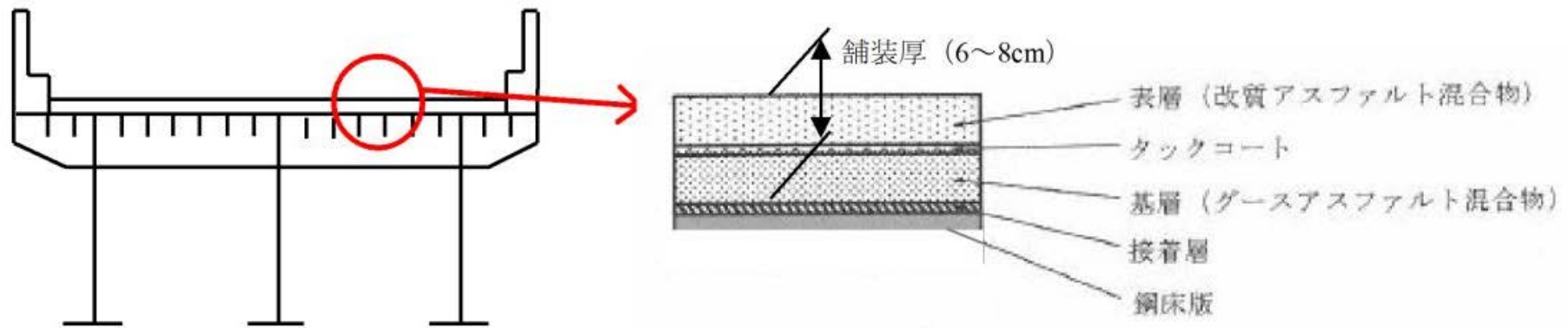
- S30年頃より溶接接合が道路橋に本格導入→**S31・S32年道示**
- 使用鋼材(490材の採用)の変化(S39) → **S39年道示**
- 使用鋼材(490Y材の採用)の変化(S42)及びRC床版規定の改定(S55)に伴う死荷重→**S55年道示**
- 設計活荷重の改定(H5)と鋼道路橋設計ガイドライン(案)の適用(H7)→**H14道示**

# 床版上面の舗装構成

- 平成14年道示以降に設計された橋では、**防水層設置が標準**



コンクリート床版上の舗装構成の例



鋼床版上の舗装構成の例



## II 床版技術と関連規定の変遷

- ・コンクリート系床版
- ・鋼床版

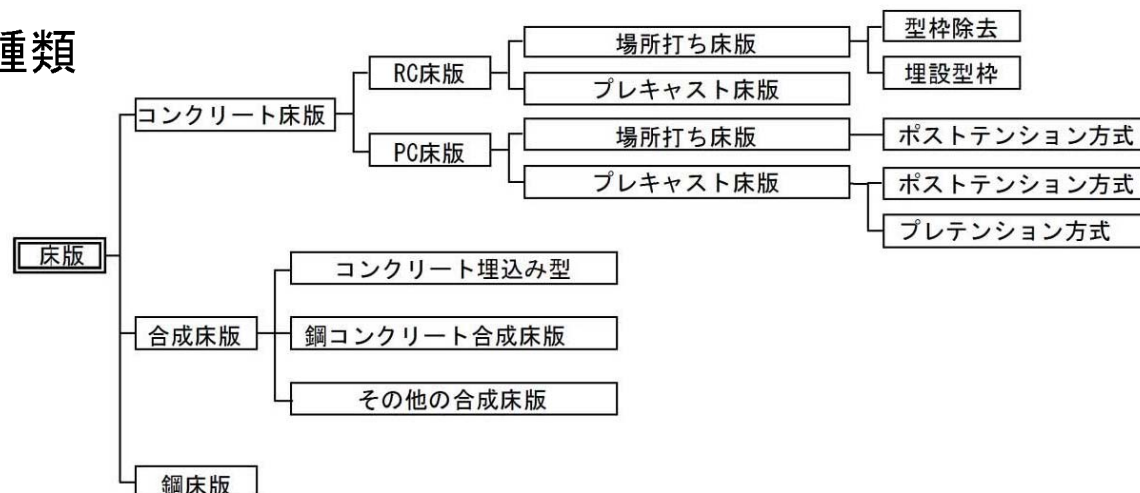
# 床版の設計

- ・鋼道路橋の床版は輪荷重を直接支持し、これを床組又は主桁に伝える主部材。
- ・**床版の破壊メカニズムは複雑**であり、現状では設計計算による疲労耐久性の照査は難しいため、道示Ⅱには、**過去の実績や実験等**から、疲労耐久性及び安全性を満たすとされる設計法が示されている。

## 【道示Ⅱ 9.1.2 設計一般】

- ・直接支持する活荷重等の影響に対して安全であること
- ・活荷重等に対して疲労耐久性を損なう有害な変形を生じないこと
- ・自動車の繰返し通行に対して疲労耐久性を損なわないこと
- ・必要に応じて、以下について安全であることを照査
  - ・床版に主桁間の荷重分配作用を考慮した設計を行う場合
  - ・地震や風荷重等の横荷重に対して床版が抵抗する設計を行う場合

### 1) 床版の種類



# コンクリート系床版

# RC床版の損傷事例

・遊離石灰を伴わない場合あり。



一方向ひび割れ



格子状ひび割れへの移行

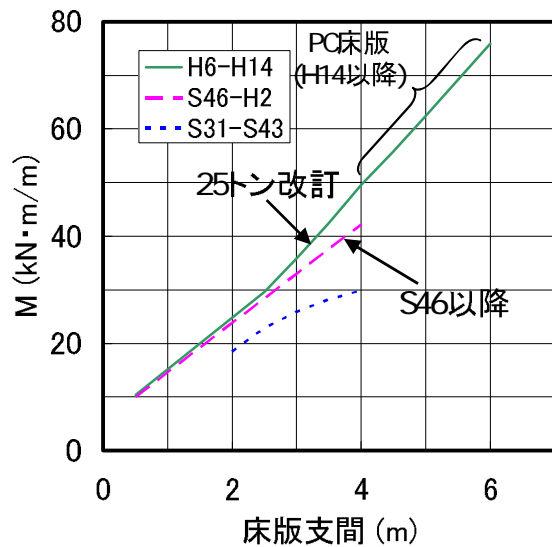


抜け落ち前の舗装の状況

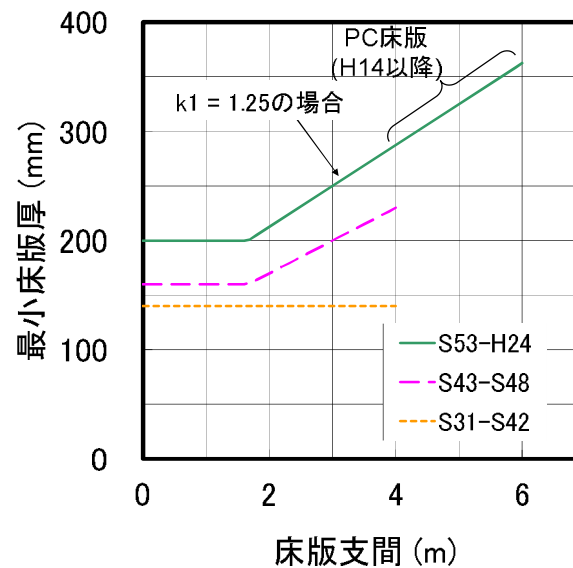
抜け落ち状況

# RC床版の経緯と設計基準の変遷

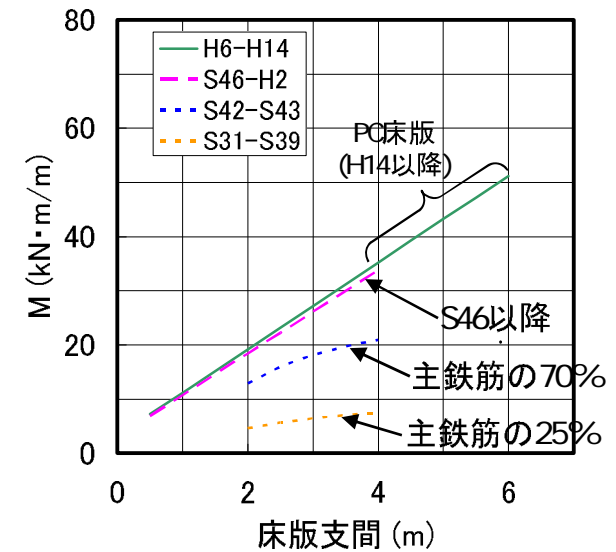
- 昭40年代 RC床版のひび割れが全国的な重要課題
  - 橋梁建設数の増大
  - 交通量の増大, 車両の大型化
- 昭59年 輪荷重移動装置によるRC床版の疲労現象を解明 (松井ら)
  - RC床版の劣化機構が試験により再現可能
- 平6年~ 25トン対応, 床版の補修・補強を促進
  - 各機関で輪荷重試験機を導入
  - 階段載荷による各年代の床版の耐久性を相対評価



主鉄筋設計曲げモーメント



最小床版厚

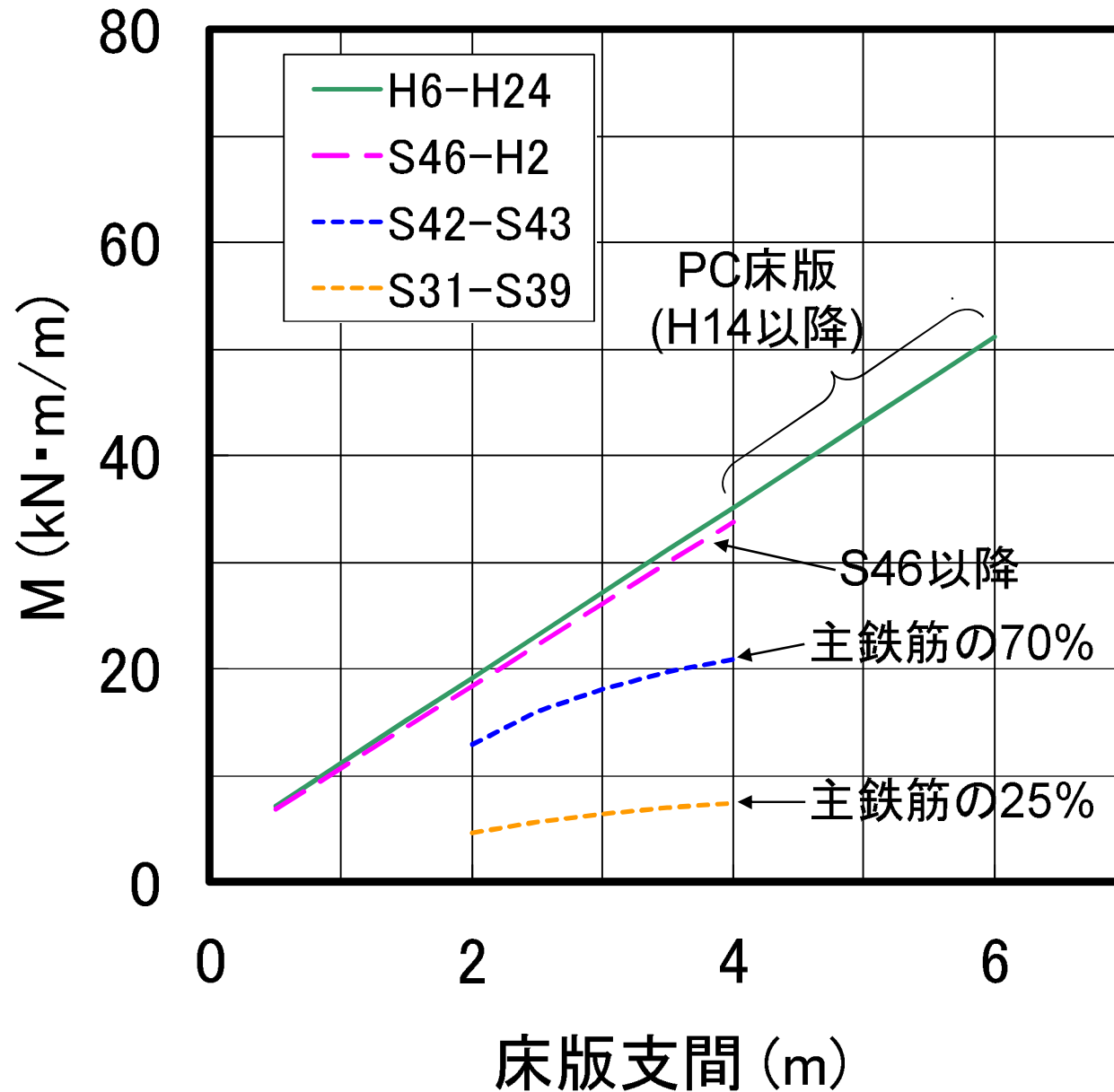


配力筋設計曲げモーメント

# 床版設計の変遷

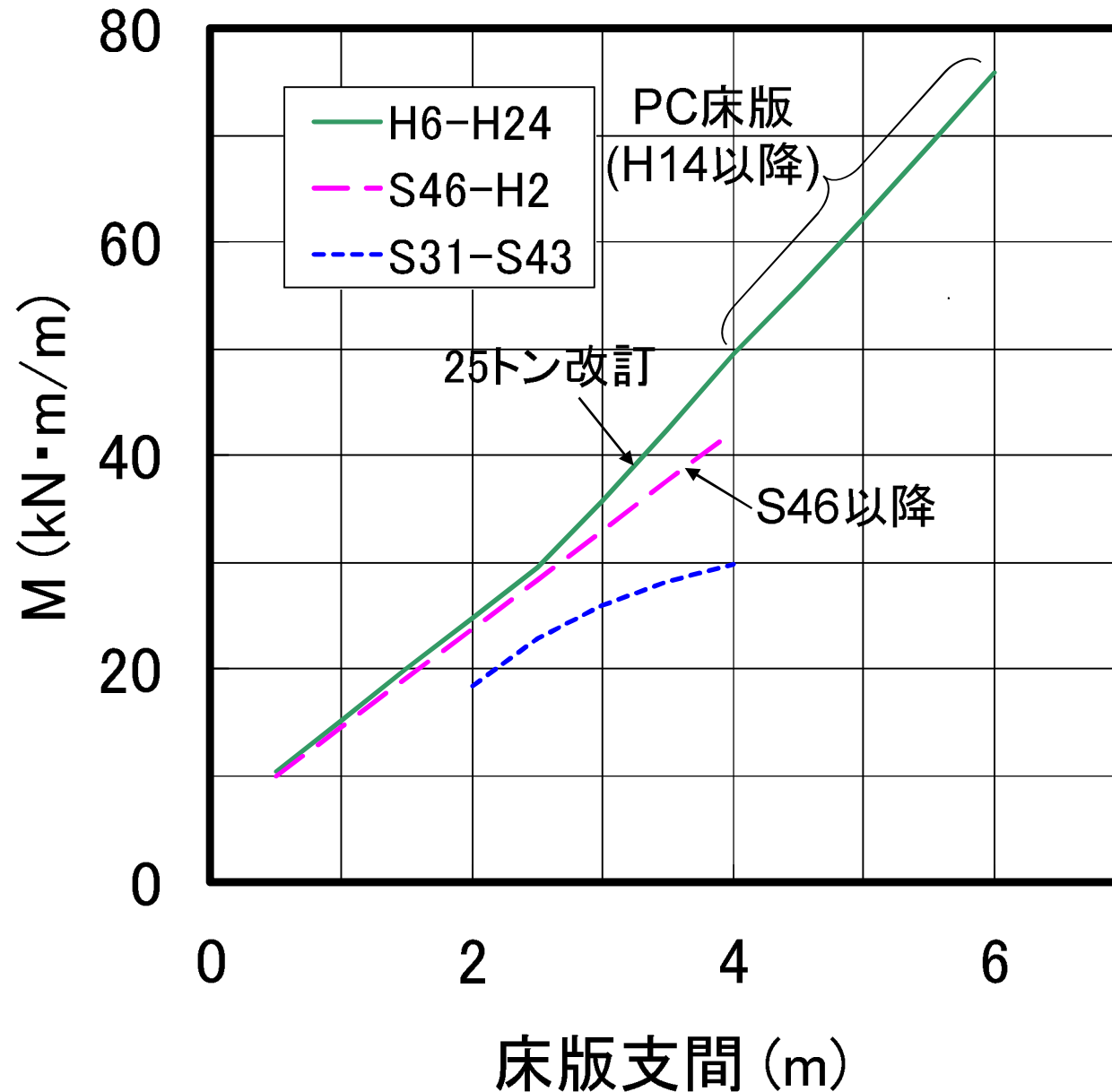
適用基準 および示方書	発行 年月	輪荷重P [kgf]	曲げモーメント式		鉄筋の 許容応力度	配力 鉄筋量	最小床版厚
			主鉄筋方向	配力筋方向			
道路橋示方書	昭31.5	8,000	0.4(L-1) L+0.4  (ただし、 2<L≤4m)	規定なし	SR24 1,400 kgf/cm <sup>2</sup>	主鉄筋の 25%以上	14cm
道路橋示方書	昭39.6				SD30 1,800 kgf/cm <sup>2</sup>		
鋼道路橋の一方向 鉄筋コンクリート床版 の配力鉄筋量設計要領	昭42.9				SD30 1,400 kgf/cm <sup>2</sup>	曲げモー メントを 規定	
鋼道路橋の床版設計に 関する暫定指針(案)	昭43.5						
鋼道路橋の鉄筋コンク リート床版の設計につ いて	昭46.3	8,000 (9,600)	0.8(0.12L +0.07)P	0.8(0.10L +0.04)P	SD30 1,400 kgf/cm <sup>2</sup>  SD30 1,400 kgf/cm <sup>2</sup> で 200kgf/cm <sup>2</sup> 程度 余裕を持たせる。	3L+11≥16cm	
道路橋示方書	昭48.2						
鋼道路橋の鉄筋コンク リート床版の設計施工 について	昭53.4						
道路橋示方書	昭55.2	10,000				k1・k2・d0 d0=3L+11≥ 16cm  床版支間は 3m以内が望 ましい。	
	平2.2						
	平6.2						
	平8.12						
	平14.3						

# 設計曲げモーメントの変遷 (鋼橋、配力鉄筋)



RC床版の損傷が頻発したため、まず配力鉄筋量が見直された。また、S46通達で、配力鉄筋方向の設計曲げモーメント式が制定された。

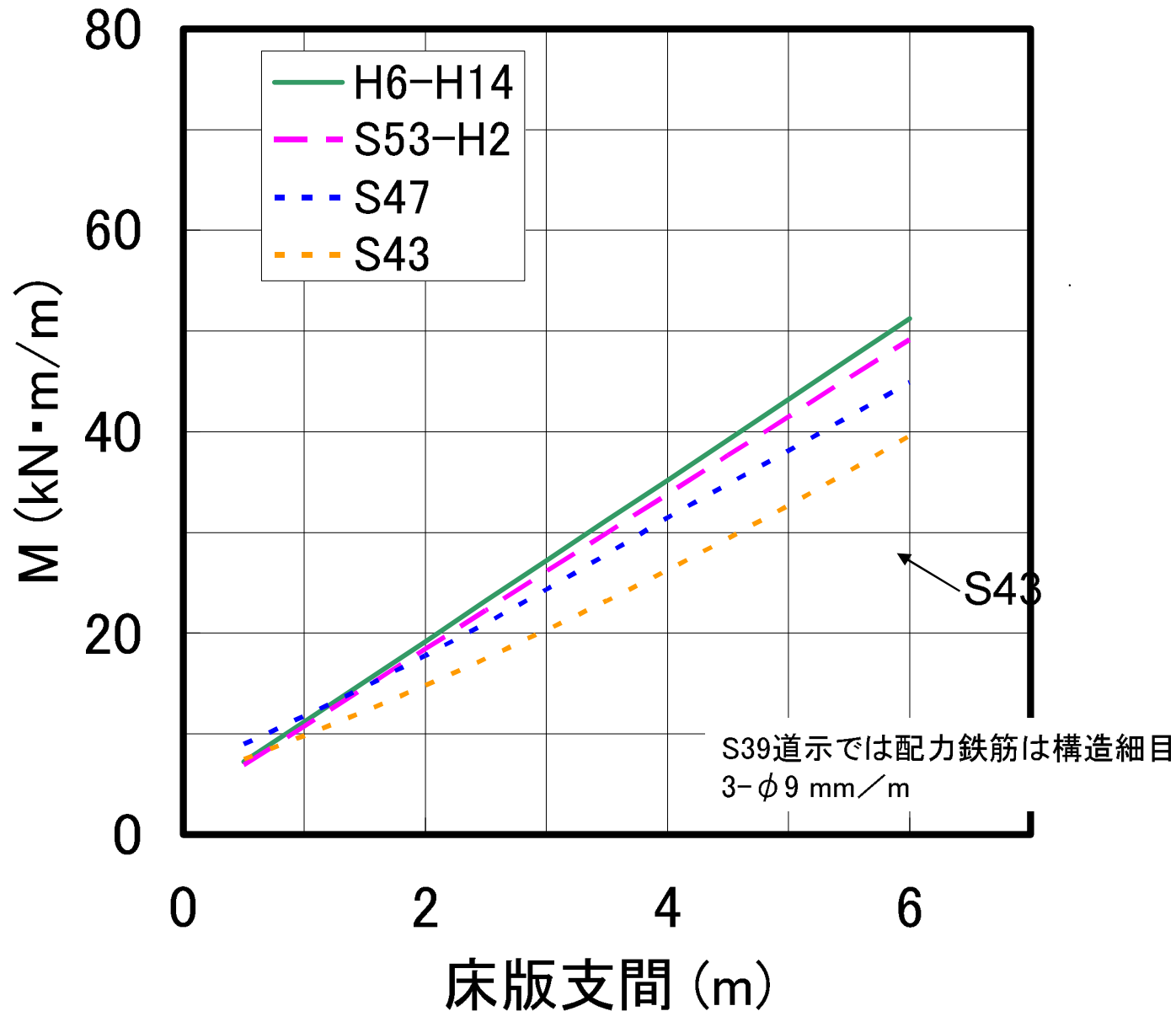
# 設計曲げモーメントの変遷 (鋼橋、主鉄筋)



S46に、主鉄筋方向の設計曲げモーメント式も見直された。

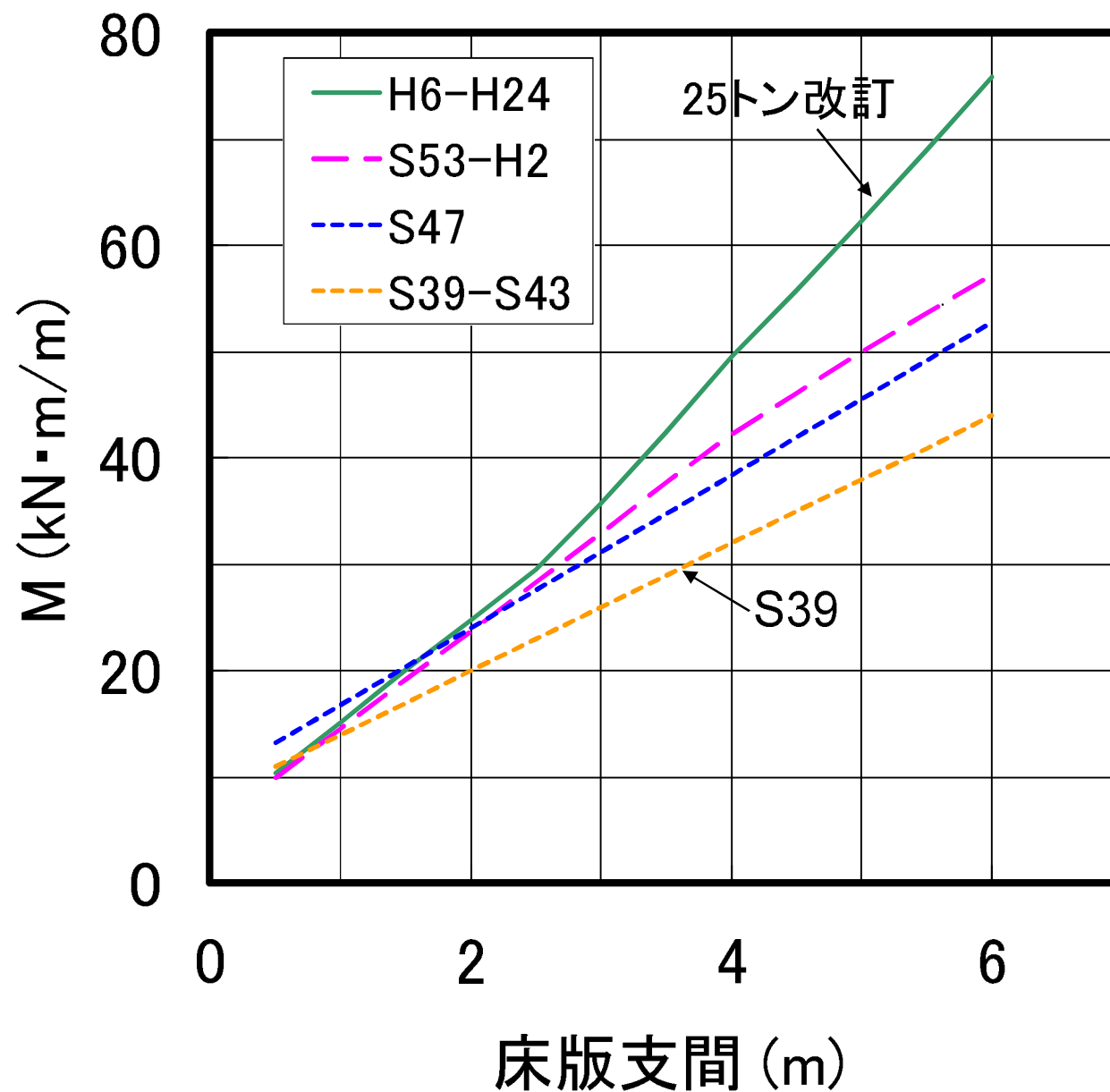


# 設計曲げモーメントの変遷 (RC橋、配力鉄筋)



RC橋床版の設計曲げモーメントは、S53まで鋼橋RC床版と異なっていた。S53以降はほとんど共通。

# 設計曲げモーメントの変遷 (RC橋、主鉄筋)



# 床版の設計曲げモーメント

道示では、様々なケースについて版の解析を行い、設計に用いやすいように曲げモーメント算定式を規定。

T荷重(衝撃を含む)による床版の設計曲げモーメント(kN・m/m)

床版の区分	曲げモーメントの種類		床版の支間の方向 曲げモーメントの方向 適用範囲(m)	車両進行方向に直角の場合		車両進行方向に平行の場合	
				主鉄筋方向の曲げモーメント	配力鉄筋方向の曲げモーメント	主鉄筋方向の曲げモーメント	配力鉄筋方向の曲げモーメント
単純版	支点曲げモーメント		$0 < L \leq 4$	$+(0.12L + 0.07)P$	$+(0.10L + 0.04)P$	$+(0.22L + 0.08)P$	$+(0.06L + 0.06)P$
連続版	支間曲げモーメント	中間支間	$0 < L \leq 4$	$+($ 単純版80%)	$+($ 単純版80%)	$+($ 単純版80%)	$+($ 単純版と同じ)
		端支間				$+($ 単純版90%)	$+($ 単純版と同じ)
	支点曲げモーメント	中間点		$-($ 単純版80%)	—	$-($ 単純版80%)	—
片持版	支点		$0 < L \leq 1.5$	$-\frac{PL}{(1.30L + 0.25)}$	—	$-(0.70L + 0.22)P$	—
	先端付近			—	$+(0.15L + 0.13)P$	—	$+(0.16L + 0.07)P$

ここに、L:9.2.3に示すT荷重に対する床版の支間(m)

P:共通編 2.2.2に示すT荷重の片側荷重(100kN)

# 断面力式設定の経緯

## 昭和31年道示

### 一方向版の曲げモーメント

二辺単純，二辺無限長とした等方性版理論で計算

曲げモーメントが最大となるような輪荷重の載荷を考えて求めた理論値を支間長の関数として近似的な実用式に直した

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{p(x, y)}{D}$$

- ・二方向版の曲げモーメントが別途規定されていた(辺長比1:2未満)
- ・主鉄筋量の25%の配力鉄筋を配置しなければならない(解説)
- ・舗装厚50mmと有効高さの1/2の範囲で，版厚方向に45°で等分布すると仮定

# 断面力式設定の経緯

## 昭和31年道示

単純版の場合，支間が車両進行方向に直角の場合の曲げモーメント

y方向において，載荷範囲

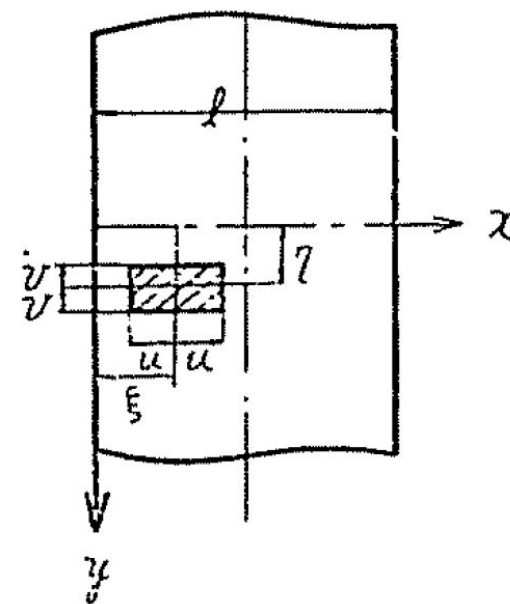
$$M_x = \frac{2pl^2}{\pi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m^2} \sin \frac{m\pi\xi}{l} \cdot \sin \frac{m\pi u}{l} \cdot \sin \frac{m\pi x}{l} \\ \times \left[ \frac{2}{m\pi} - \left\{ \frac{2}{m\pi} + (1-\nu) \frac{v}{l} \right\} \exp\left(-\frac{m\pi v}{l}\right) \right]$$

$$M_y = \frac{2pl^2}{\pi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m^2} \sin \frac{m\pi\xi}{l} \cdot \sin \frac{m\pi u}{l} \cdot \sin \frac{m\pi x}{l} \\ \times \left[ \frac{2\nu}{m\pi} - \left\{ \frac{2\nu}{m\pi} - (1-\nu) \frac{v}{l} \right\} \exp\left(-\frac{m\pi v}{l}\right) \right]$$

y方向において，載荷範囲の外側

$$M_x = \frac{pl^2}{\pi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m^2} \sin \frac{m\pi\xi}{l} \cdot \sin \frac{m\pi u}{l} \cdot \sin \frac{m\pi x}{l} f\left(m, \nu, \frac{\eta}{l}, \frac{v}{l}\right)$$

$$M_y = \frac{pl^2}{\pi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m^2} \sin \frac{m\pi\xi}{l} \cdot \sin \frac{m\pi u}{l} \cdot \sin \frac{m\pi x}{l} g\left(m, \nu, \frac{\eta}{l}, \frac{v}{l}\right)$$



出典：鋼橋設計示方書とプレストレストコンクリート指針，土木学会，1955

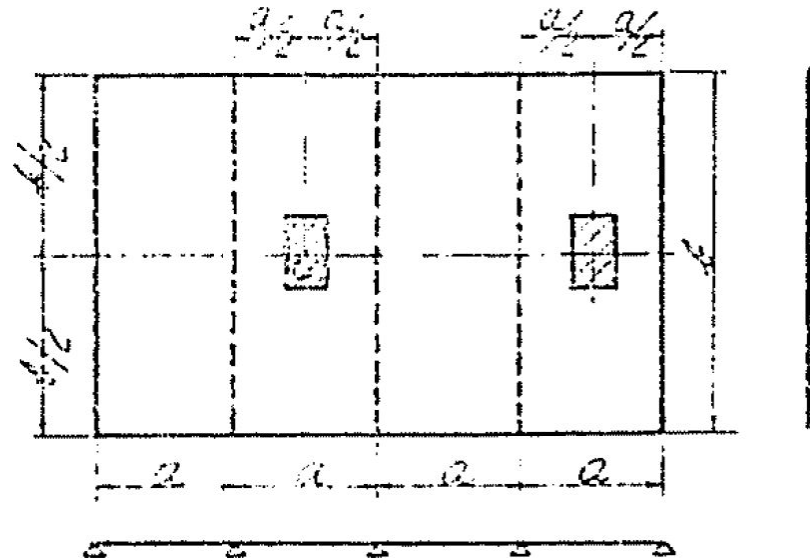
# 断面力式設定の経緯

## 昭和31年道示

連続版の曲げモーメントは、下図の仮定で各支間ごとの最大曲げモーメントを算出して、単純版の場合との比 $\alpha$ を算定した。これらの値を丸めて、連続版の曲げモーメントを単純版の値の0.8とした。

表-5  $\alpha = M_{cx}/M_x$

$l$ (m)	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50
$\alpha$	0.725	0.792	0.824	0.830	0.716	0.664



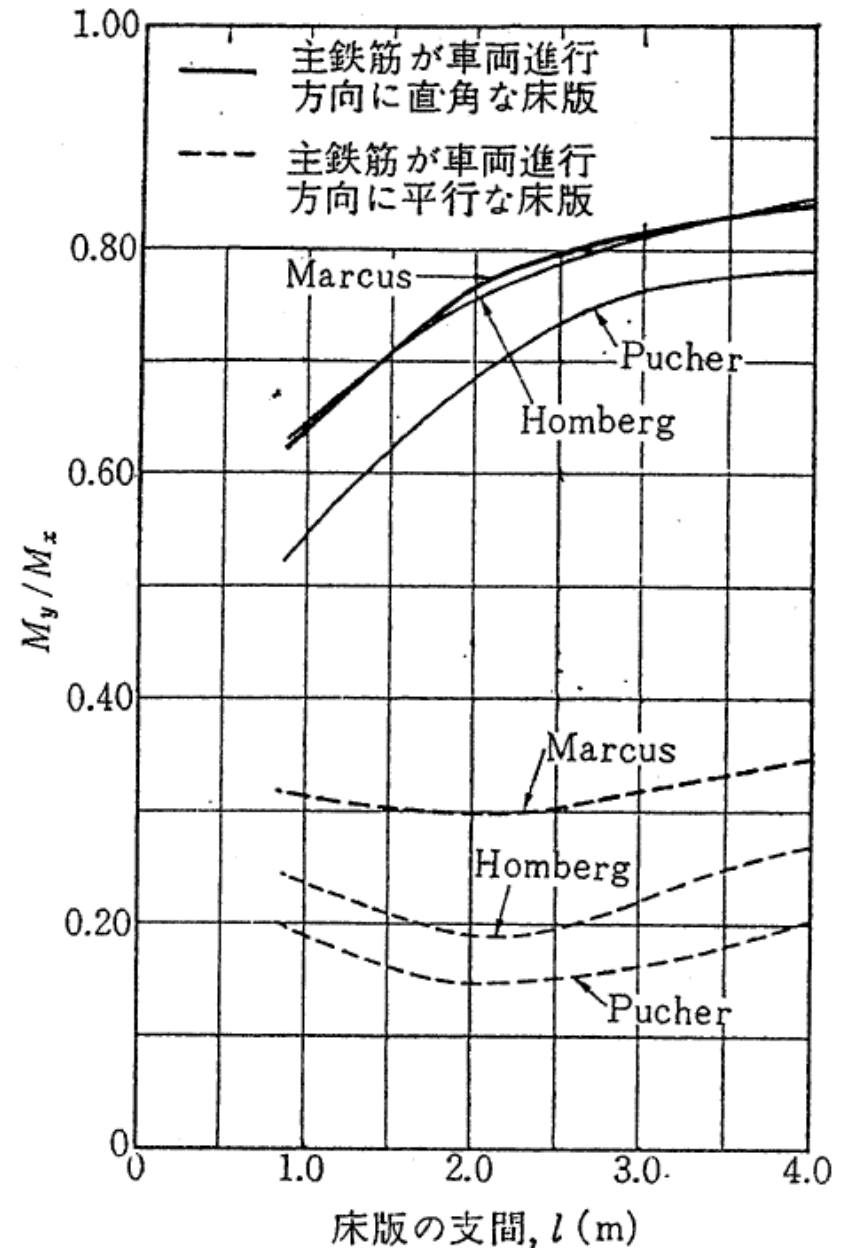
出典：鋼橋設計示方書とプレストレストコンクリート指針，土木学会，1955

# 断面力式設定の経緯

## 昭和42年通達

- 一方向版の配力鉄筋量
  - 主鉄筋量の25%から70%に改定
  - (主鉄筋が車両進行方向に直角の場合)
  - 計算条件は31年道示と同様
  - 等方性版と直交異方性版の両方で、配力鉄筋方向の曲げモーメントを計算した。
  - 海外基準等をみた上で、等方性版の曲げモーメントを参考に70%とした。

$M_x$  : 主鉄筋方向の曲げモーメント  
 $M_y$  : 配力鉄筋方向の曲げモーメント



出典: 道路, 1968.1.

# 断面力式設定の経緯

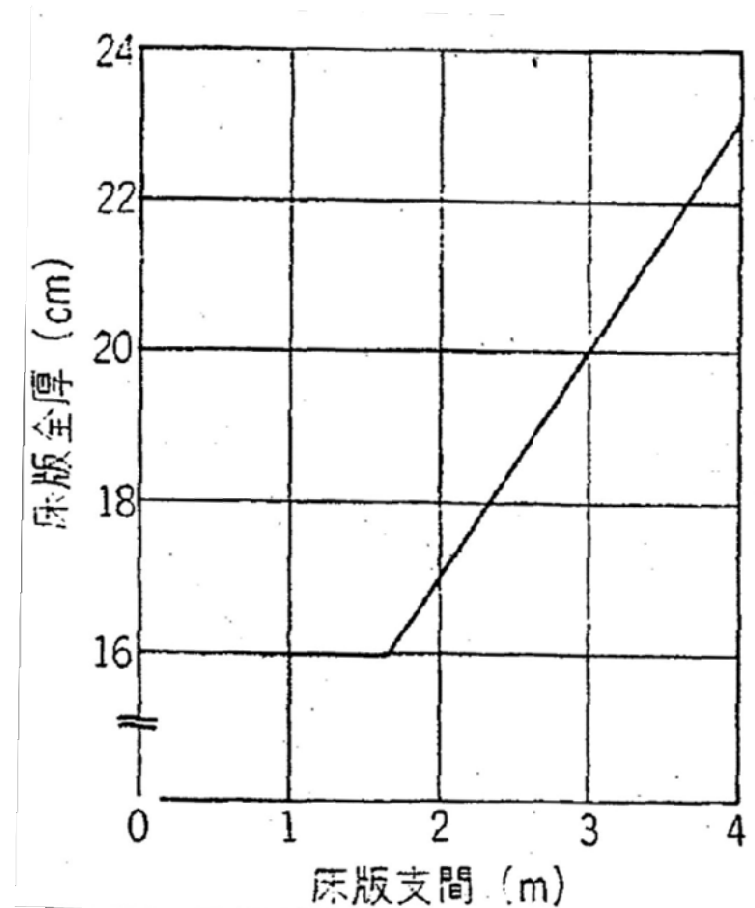
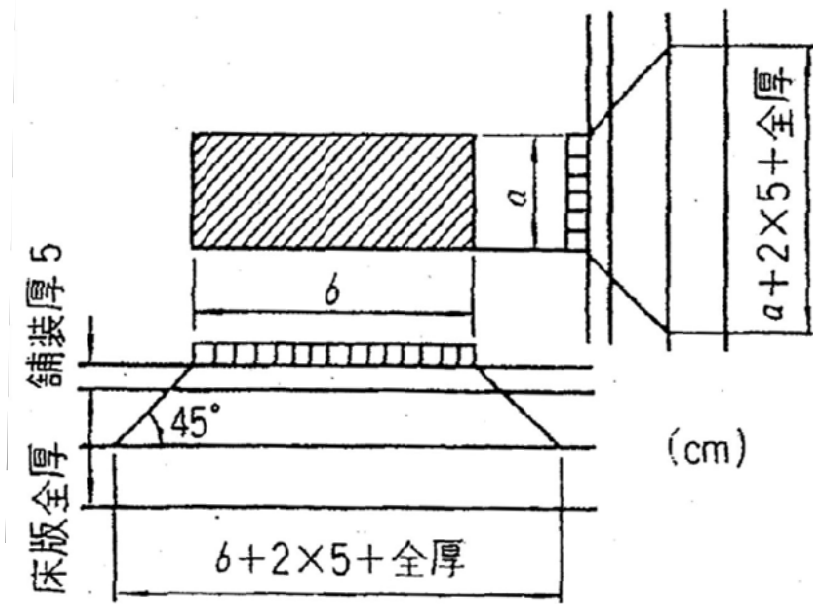
## 昭和46年通達

一方向版の設計曲げモーメントを改定(現行算定式の原型)

従来と概ね同様に, 等方性版理論で計算  
配力鉄筋の設計曲げモーメントを規定

荷重の分布範囲を, 有効高さから全厚に変更

版厚の関数となることから, 左図のとおり  
仮定して計算

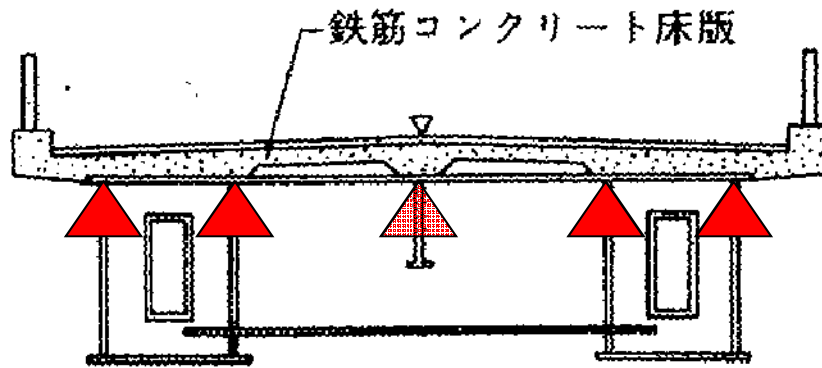


出典: 橋梁と基礎, 1971.8.

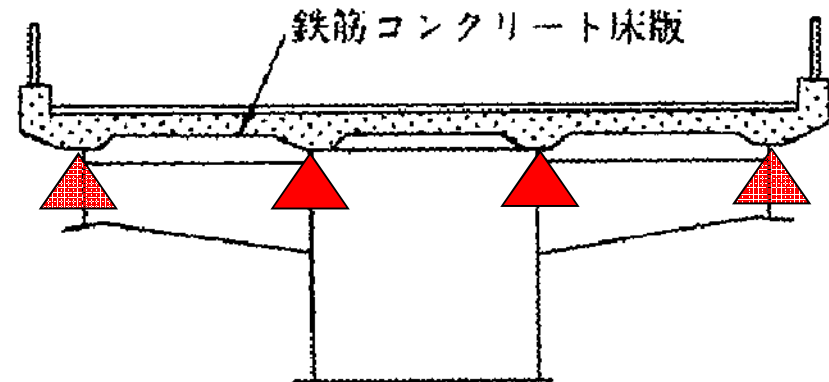


# 付加曲げモーメント

(4) 床版を支持する桁の剛性が著しく異なり, そのために生じる付加曲げモーメントの大きさが無視できない場合は, この付加曲げモーメントを考慮する。この場合は, 床版を支持する桁の剛性の相違を考えて, 設計曲げモーメントを算出しなければならない。



(a)箱断面主桁間に縦桁を配置する場合



(b)箱断面主桁の外側にブラケットを設けて縦桁を配置する場合

図-解 9.2.4 床版に付加曲げモーメントが生じる形式の例

# 床版の最小全厚

車道部分の最小全厚は、160mm又は下表の値のうち大きい値とする。

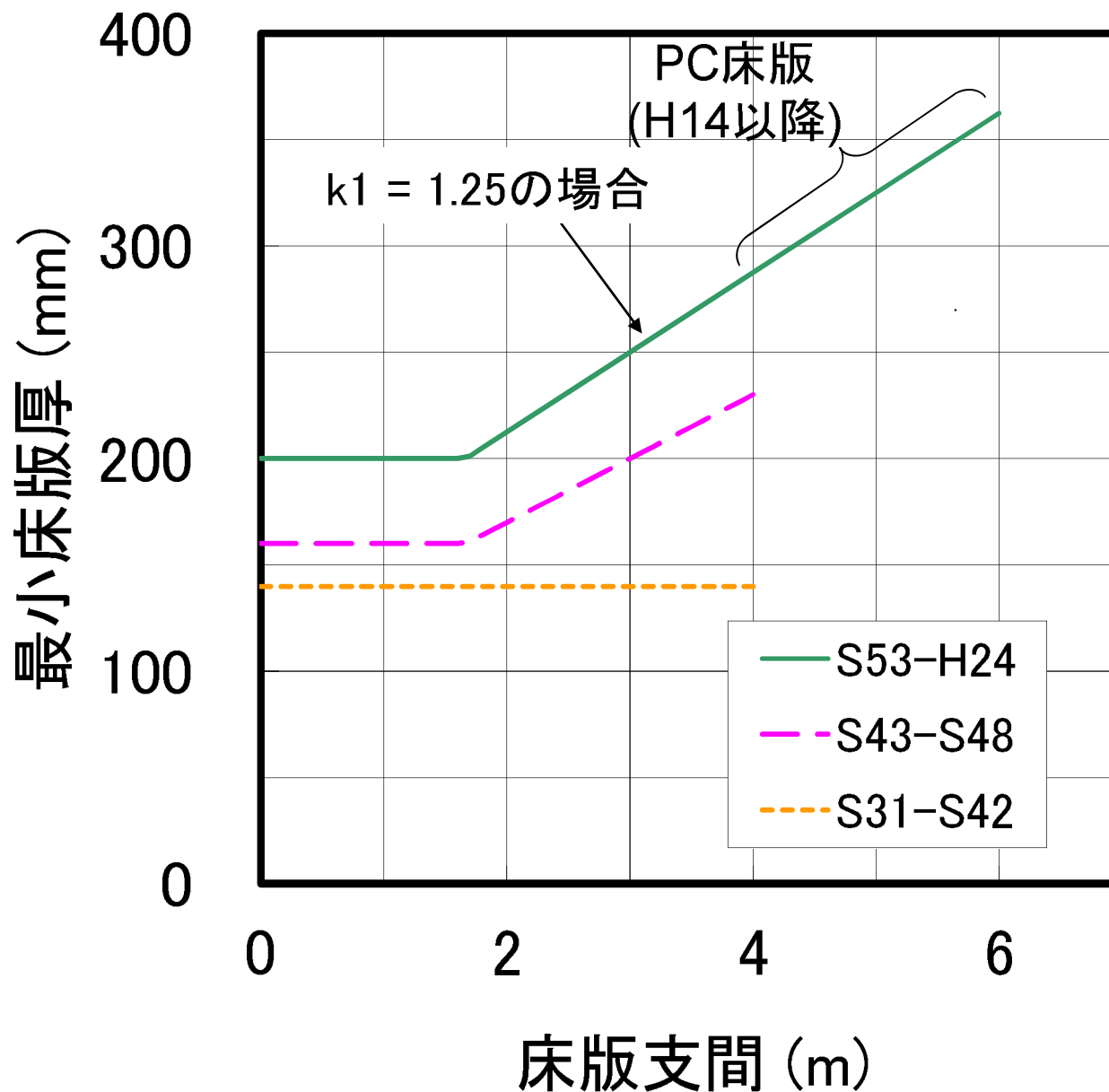
表-9.2.4 車道部分の床版の最小全厚(mm)

版の区分	床版の支間方向	
	車両進行方向に直角	車両進行方向に平行
単純版	$40L+110$	$65L+130$
連続版	$30L+110$	$50L+130$
片持版	$0 < L \leq 0.25$	$280L+160$
	$L > 0.25$	$80L+210$
		$240L+130$

ここに、L : 9.2.3に示すT荷重に対する床版の支間(m)

# 最小床版厚の変遷

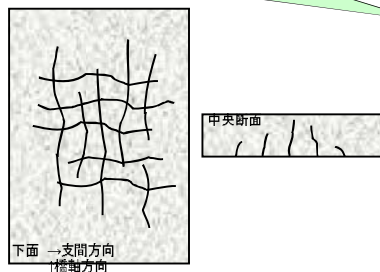
(鋼橋, 連続版, 支間が走行方向に直角の場合)



S43の改訂では、有害なひび割れを抑制するため厚くした。設計曲げモーメントで設計すれば、たわみは概ね 1/5000 以下となる。設計曲げモーメント算出時に仮定された版厚。

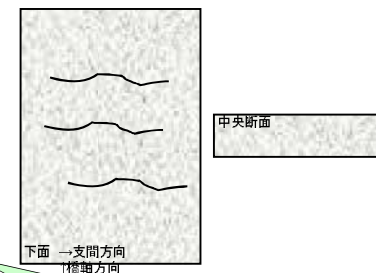
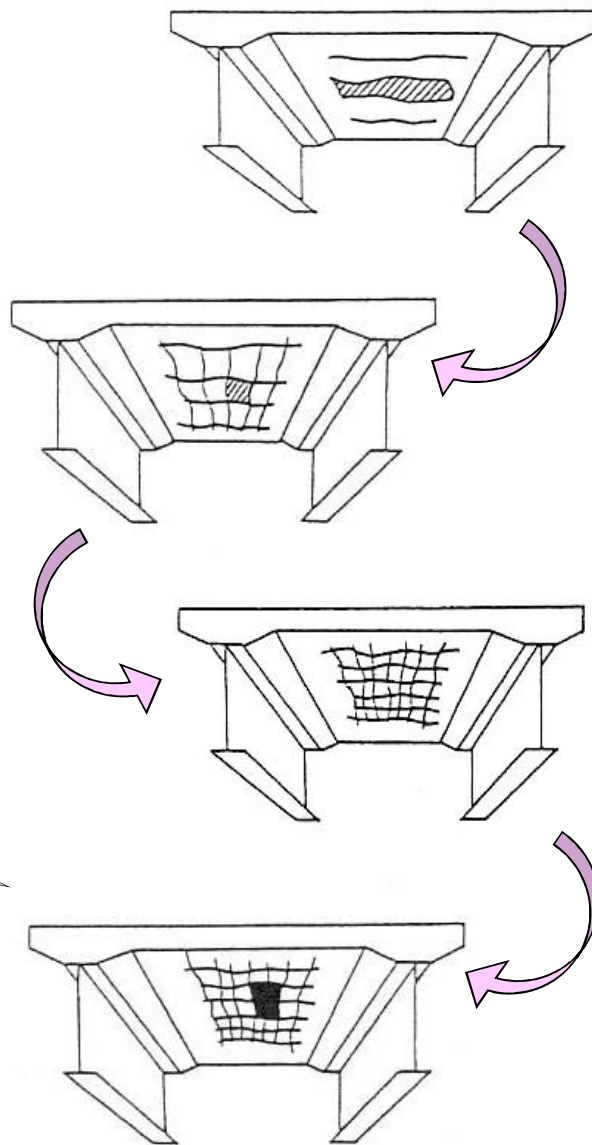
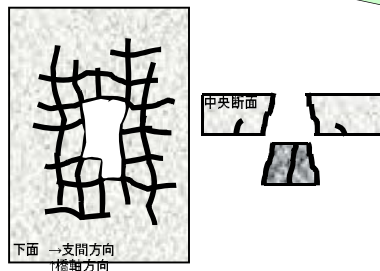
# RC床版の損傷過程

活荷重により縦横のクラックが交互に発生し、格子状のクラック密度が増加する段階  
後半には、クラックが上面まで貫通する

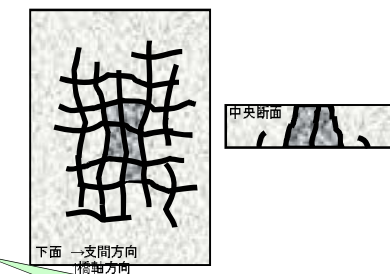


**※貫通前の曲げクラック  
⇒鋼板接着、炭素シート貼付  
+防水層**

低下した押抜きせん断強度を超える輪荷重により、抜落ちを生じる段階



乾燥収縮クラック等の発生により並列の梁状になる段階



貫通したクラックの破面同士が摺り磨き作用により平滑化されせん断抵抗を失う段階

**※せん断強度低下  
⇒上面増厚+下面補強  
+防水層**

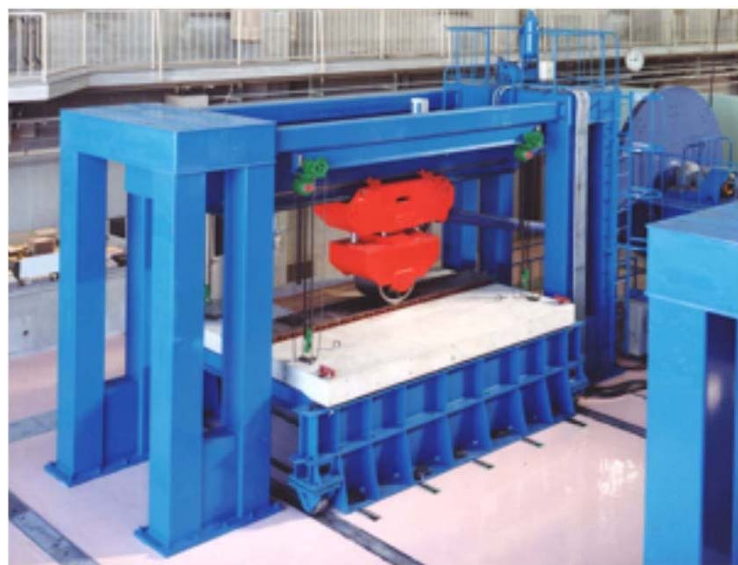
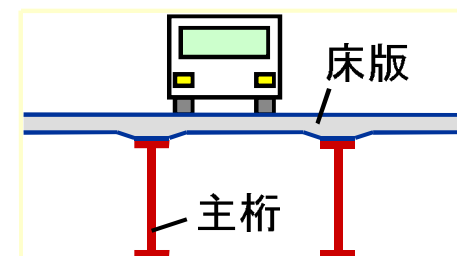
# 輪荷重走行試験機による疲労メカニズムの再現



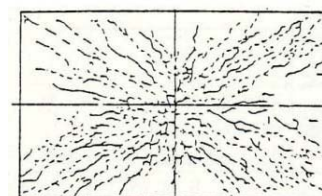
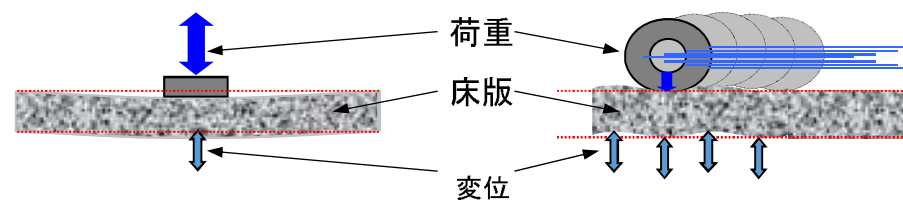
2方向のひび割れ



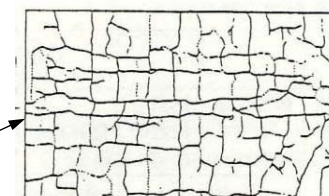
床版コンクリートの抜け落ち



輪荷重走行試験機



従来の疲労試験  
(定点での繰り返し載荷  
載荷点を中心に放射状  
のひび割れ)

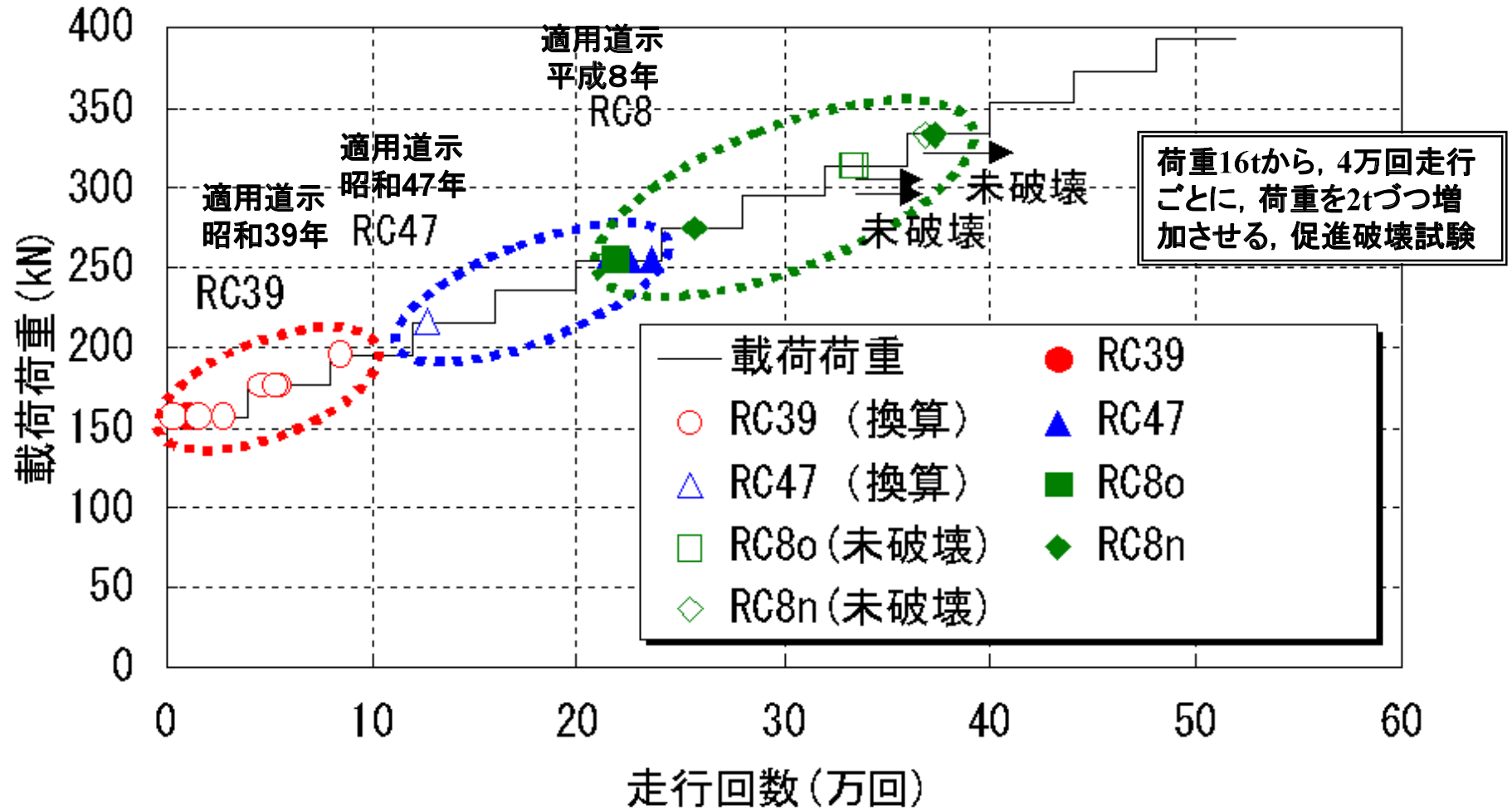


輪荷重走行試験  
(荷重を荷重させた状態で載  
荷位置を連続的に移動。実際  
と同様、格子状のひび割れ)

床版下面の  
ひび割れ

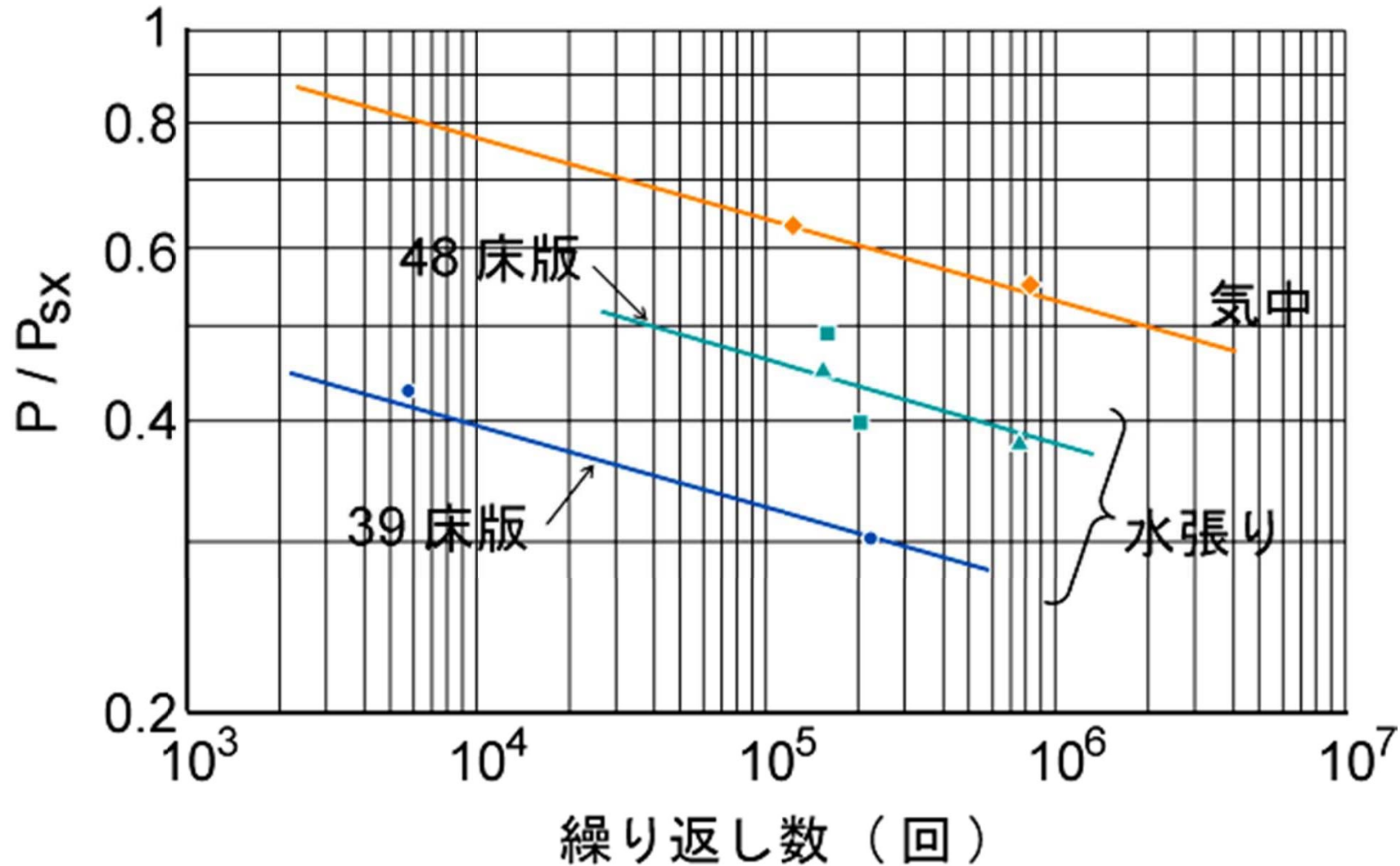
定点載荷と走行載荷の違い

# 試験方法と評価結果の例



国土交通省における鉄筋コンクリート床版の輪荷重走行試験結果の例

# RC床版の疲労耐久性

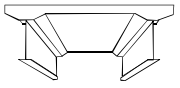
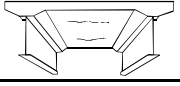
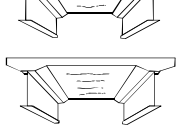
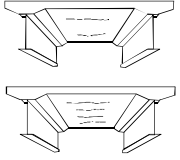
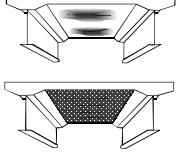
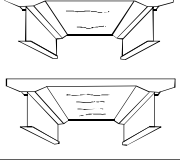
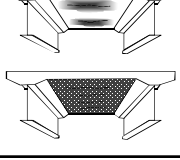


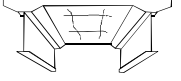
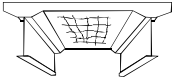
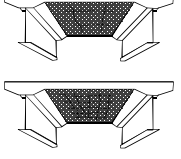
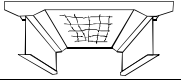
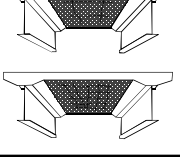
出典：松井ら、橋梁と基礎98-6

# 損傷種類毎の事例

## 床版ひびわれ

出典：国総研資料第748号 道路橋の定期点検に関する参考資料(2013年版)-橋梁損傷事例写真集-

状態	1方向ひびわれ		
	性状	ひびわれ	漏水・遊離石灰
状態 i		損傷なし	なし
状態 ii		<ul style="list-style-type: none"> <li>ひびわれは主として1方向のみ</li> <li>最小ひびわれ間隔は概ね1m以上</li> <li>最大ひびわれ幅は0.05mm以下 (ヘアークラック程度)</li> </ul>	なし
状態 iii		<ul style="list-style-type: none"> <li>ひびわれは主として1方向のみ</li> <li>ひびわれ間隔は問わない</li> <li>ひびわれ幅は0.1mm以下が主 (一部には0.1mm以上も存在)</li> </ul>	なし
状態 iv		<ul style="list-style-type: none"> <li>ひびわれは主として1方向のみ</li> <li>ひびわれ間隔は問わない</li> <li>最大ひびわれ幅は0.2mm以下が主 (一部には0.2mm以上も存在)</li> </ul>	なし
		<ul style="list-style-type: none"> <li>ひびわれは主として1方向のみ</li> <li>ひびわれ間隔は問わない</li> <li>最大ひびわれ幅は0.2mm以下が主 (一部には0.2mm以上も存在)</li> </ul>	あり
状態 v		<ul style="list-style-type: none"> <li>ひびわれは主として1方向のみ</li> <li>ひびわれ間隔は問わない</li> <li>ひびわれ幅は0.2mm以上が目立ち、部分的な角落ちも見られる</li> </ul>	なし
		<ul style="list-style-type: none"> <li>ひびわれは主として1方向のみ</li> <li>ひびわれ間隔は問わない</li> <li>ひびわれ幅は0.2mm以上が目立ち、部分的な角落ちも見られる</li> </ul>	あり

状態	2方向ひびわれ		
	性状	ひびわれ	漏水・遊離石灰
状態 i	—		
状態 ii	—		
状態 iii		<ul style="list-style-type: none"> <li>ひびわれは格子状</li> <li>格子の大きさは0.5m程度以上</li> <li>ひびわれ幅は0.1mm以下が主 (一部には0.1mm以上も存在)</li> </ul>	なし
状態 iv		<ul style="list-style-type: none"> <li>ひびわれは格子状</li> <li>格子の大きさは0.5m~0.2m</li> <li>ひびわれ幅は0.2mm以下が主 (一部には0.2mm以上も存在)</li> </ul>	なし
		<ul style="list-style-type: none"> <li>ひびわれは格子状</li> <li>格子の大きさは問わない</li> <li>ひびわれ幅は0.2mm以下が主 (一部には0.2mm以上も存在)</li> </ul>	あり
状態 v		<ul style="list-style-type: none"> <li>ひびわれは格子状</li> <li>格子の大きさは0.2m以下</li> <li>ひびわれ幅は0.2mm以上が目立ち、部分的な角落ちも見られる</li> </ul>	なし
		<ul style="list-style-type: none"> <li>ひびわれは格子状</li> <li>格子の大きさは問わない</li> <li>ひびわれ幅は0.2mm以上が目立ち、部分的な角落ちも見られる</li> </ul>	あり



# 損傷種類毎の事例

## 床版ひびわれ



### 【主な損傷】

- ・床版ひびわれ(2方向)、漏水・遊離石灰

### 【主な着目ポイント】

- ・ひびわれの原因(交通条件、設計基準、構造)
- ・ひびわれの性状とうきの有無(ひびわれ幅、拡がり)
- ・貫通ひびわれ、内部劣化の可能性(漏水、遊離石灰、錆汁、変色)
- ・第三者被害の可能性

### 【記録のポイント】

- ・ひびわれ図
- ・変色や漏水、うきの範囲
- ・ハンチや桁など構造との関係



### 【主な損傷】

- ・床版ひびわれ(2方向)

### 【主な着目ポイント】

- ・ひびわれの原因(交通条件、施工品質、乾燥収縮、桁の拘束、)
- ・ひびわれの連続性と幅
- ・貫通ひびわれの有無
- ・鉄筋やずれ止めとの位置関係
- ・鉄筋のかぶり不足の可能性

### 【記録のポイント】

- ・ひびわれ図
- ・ハンチや桁など構造との関係
- ・舗装や路面の状況

# 損傷種類毎の事例

## 床版ひびわれ(つづき)



### 【主な損傷】

- ・床版ひびわれ(2方向、角落ちあり)

### 【主な着目ポイント】

- ・ひびわれの原因(交通条件、施工品質、乾燥収縮、桁の拘束、斜角の影響)
- ・貫通ひびわれの有無(ひびわれや桁接合部からの漏水)
- ・床版内部への雨水の浸入可能性

### 【記録のポイント】

- ・ひびわれ図
- ・ハンチや桁など構造との関係
- ・舗装や路面の状況



### 【主な損傷】

- ・床版ひびわれ(2方向)、一部で遊離石灰と錆汁を伴う

### 【主な着目ポイント】

- ・ひびわれの原因と分布の特徴(施工品質、交通条件)
- ・貫通ひびわれの可能性
- ・床版内への雨水の浸入
- ・床版の断面構成、構造の特徴
- ・舗装や床版上面の異常の有無

### 【記録のポイント】

- ・ひびわれ分布と性状
- ・舗装の異常など路面との関係
- ・発生位置、範囲、寸法(幅、間隔)

# 損傷種類毎の事例

床版ひびわれ(つづき)

床版打替え後5年目



- ・床版下面に漏水・遊離石灰を伴う床版ひびわれが発生しており、舗装の損傷も進行している。
- ・床版ひびわれは貫通している可能性が高い。



- ・床版下面に漏水・遊離石灰を伴う床版ひびわれが発生しており、舗装面はクラック注入により簡易的に補修している。
- ・床版ひびわれは貫通している可能性が高い。
- ・さらに床版上面の土砂化が懸念される。

# 鋼板接着した床版の抜け落ち



橋梁形式: 8径間RCT桁橋+2径間PC床版橋  
橋 長: 126.5m

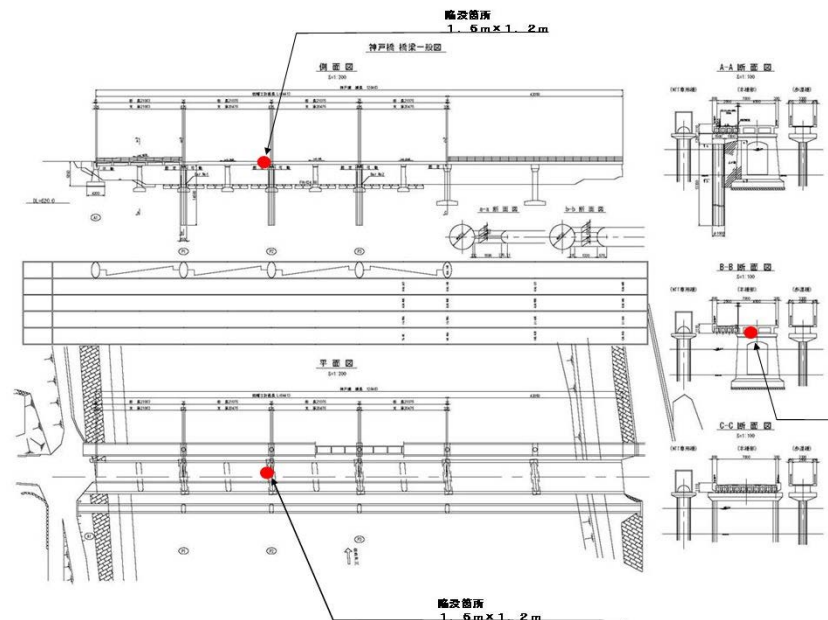
竣工年: 1935年 (供用74年)

1985年に拡幅、床版補強を実施

2003年に点検

2009年 床版抜け落ち

- ・雨水浸透による疲労劣化促進。
- ・下面鋼板接着補強のため、確認できず。



広範囲に抜け落ちが生じた。路面で1.5m x 1.2m

# 鋼板接着



# 床版コンクリートの剥落

- ・表面保護の施されていた部位のかぶりコンクリートが広い範囲で剥落  
(寸法:約150cm×80cm×厚さ3cm、重さ約85kg)
- ・剥落箇所に鉄筋の著しい腐食の発生



鉄筋の腐食状況



剥落した下面の状況

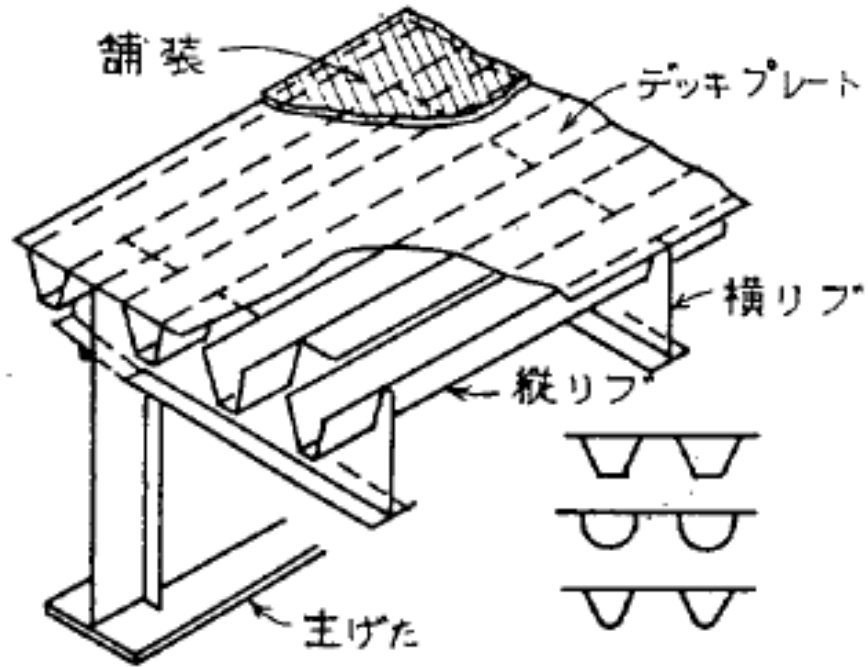


浮きが疑われる凹凸が生じている箇所

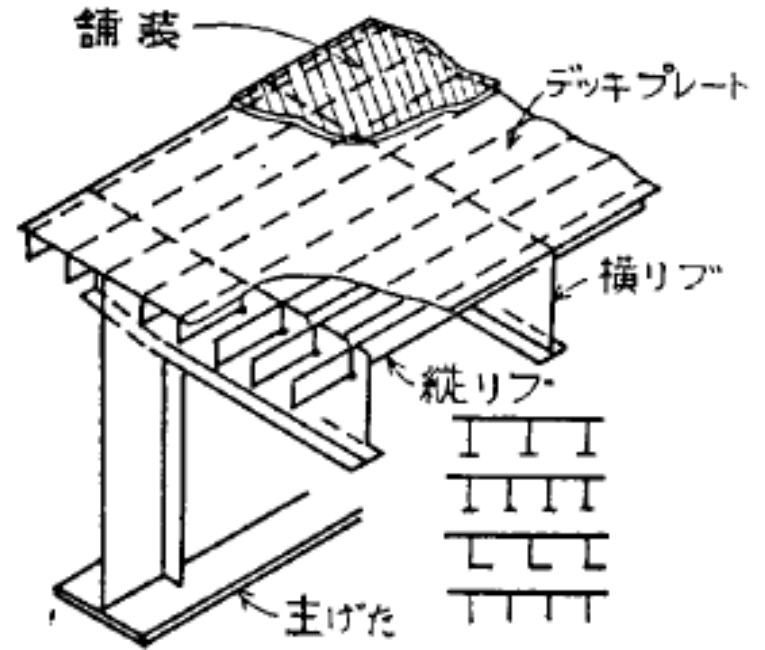
※表面保護工自体は、比較的良好にコンクリートと付着  
※水を溜め込むおそれも

# 鋼床版

# 鋼床版の構成



閉断面縦リブ



開断面縦リブ



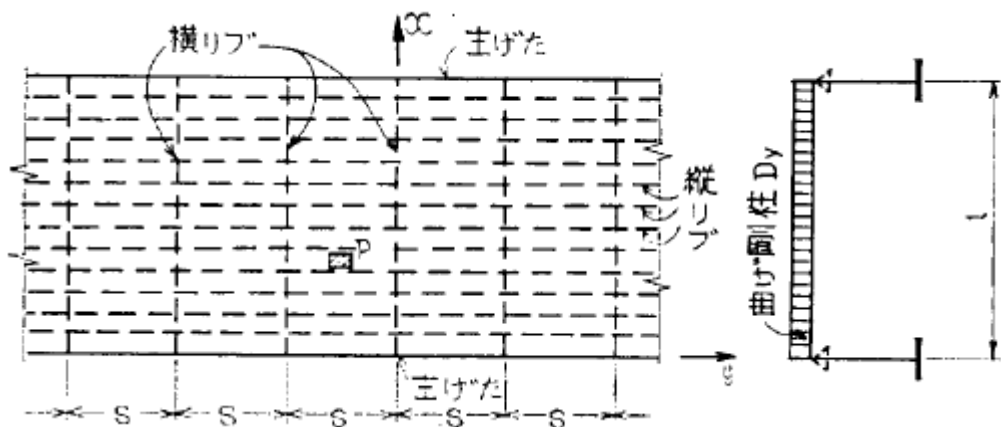
# 耐荷力設計

## 解析法の種類

1. 直交異方性版理論
2. 格子桁理論
3. Pelican-Esslingerによる実用計算法  
(直交異方性版理論に基づく)
4. 有限帯板法 (Finite Strip Method) ← 主流

なお、縦リブと横リブにはさまれた小区間の鋼版としての応力は、デッキプレートの厚さの決定において考慮しているため、通常は構造計算をしない

# Pelican-Esslingerによる実用計算法



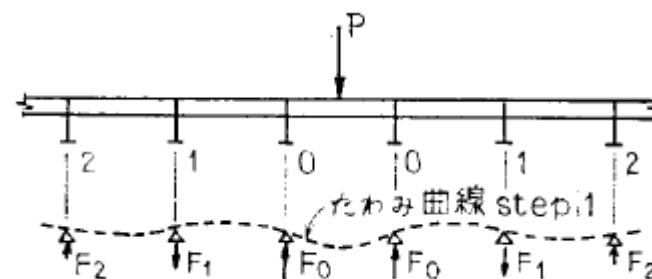
比較的重要でないパラメータを省略して、精度を確保しつつ簡素化

Pelican-Esslinger論文, 1957

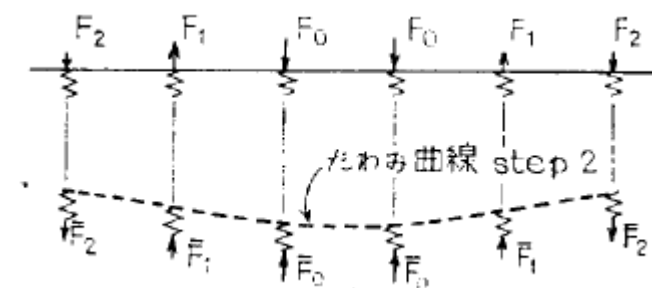
AISC Design Manual, 1963

翻訳, 土研資料399号, 1968

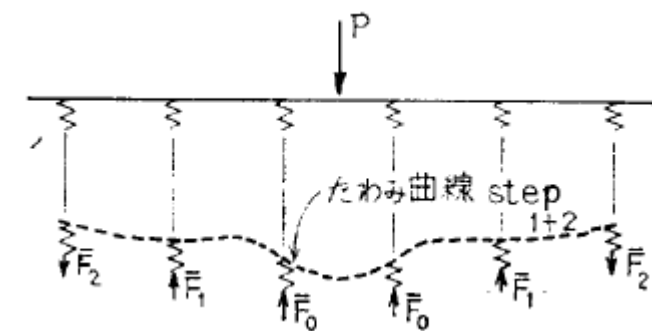
設計図表, 土研報告137号, 1969



Step 1 剛横リブ上の連続直交異方性版



Step 2 横リブのたわみの影響

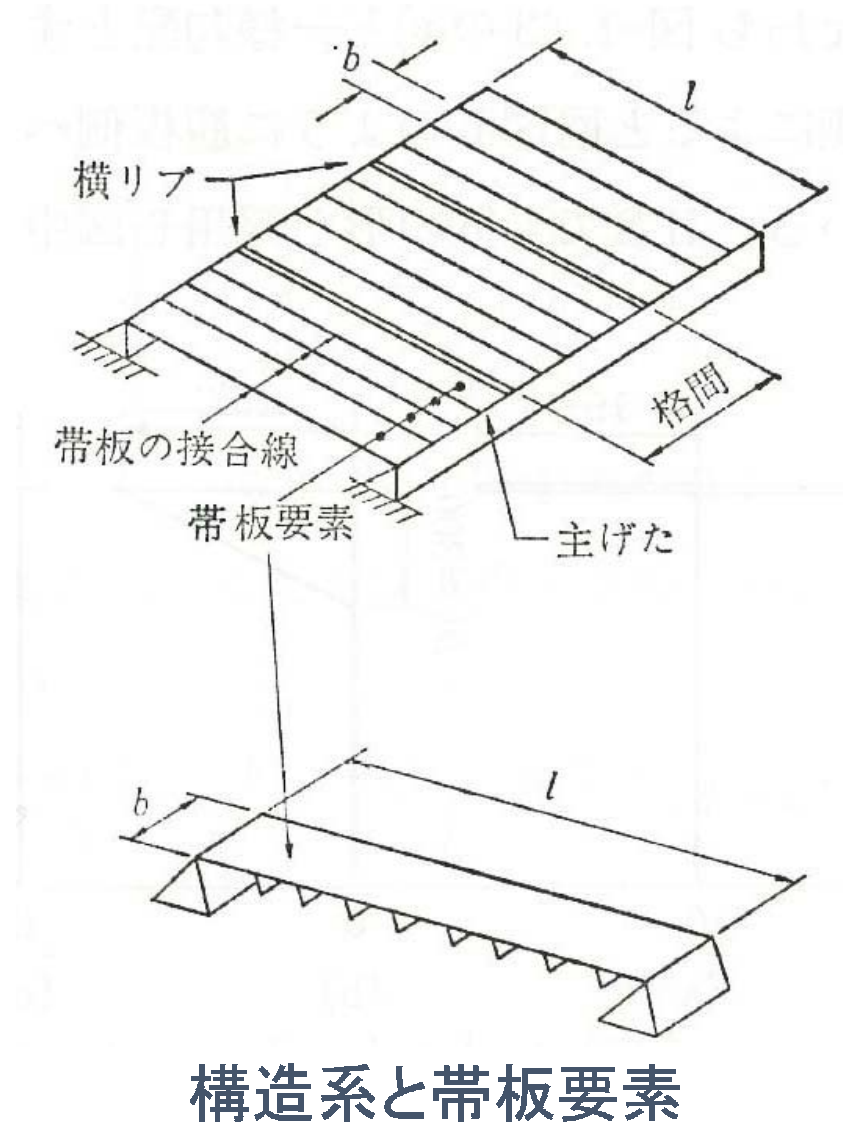


Step 1 + Step 2

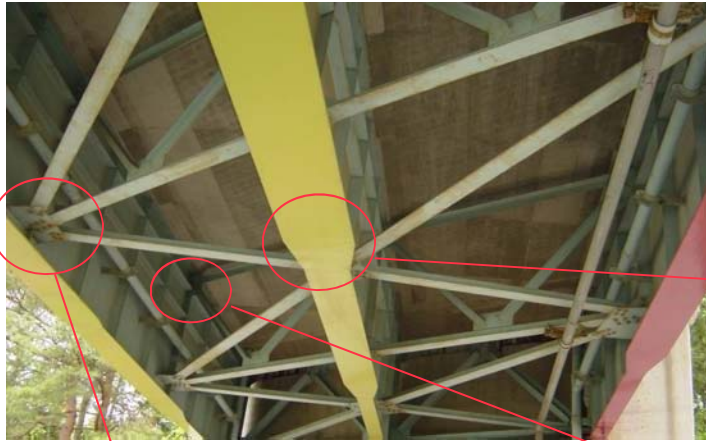
# 有限帯板法 (FSM)

主桁で支持されたデッキプレートと縦リブを任意の有限幅を持った帯板要素と横リブからなる力学モデルに置換  
変形条件から曲げモーメントなどを算出

Powell-Ogden論文, 1969  
多田, 橋梁と基礎で紹介, 1971  
山田, 大宮, 任意支持鋼床版の解析, 橋梁と基礎, 1974  
鋼道路橋設計便覧, 1979



# 疲労損傷の事例(鋼桁等)



主桁下フランジの継手部



主桁ウェブと面外ガセットの継手部



垂直補剛材と主桁上フランジの継手部

# 疲労設計の変遷

昭和14年

鉄道軌道併用等では考慮

道路橋においては、鋼床版ならびに道路橋に軌道または鉄道を併用する場合などを除いて一般に疲労を考慮しなくてよい。

昭和55年  
平成2年

鋼床版・風

・2次応力への配慮など注意喚起を順次追加

平成14年

疲労の影響を考慮(5章)

「鋼道路橋の疲労設計指針」  
(社)日本道路協会

・指針による疲労設計の妥当性を確認  
・既設橋における損傷報告が増加

平成24年

「6章 疲労設計」の導入

# 疲労設計の基本

## 【原則】

- ・ 疲労強度が著しく低い継手，過去に損傷が報告されている構造の採用を避ける。



例：鋼床版縦リブの継手部

## 【基本】

- ・ 部材に生じる応力変動の影響を評価し，必要な疲労耐久性を確保する。
- ・ 過去の知見により疲労耐久性に優れた構造などが明らかになっている場合にはそれらを採用する。

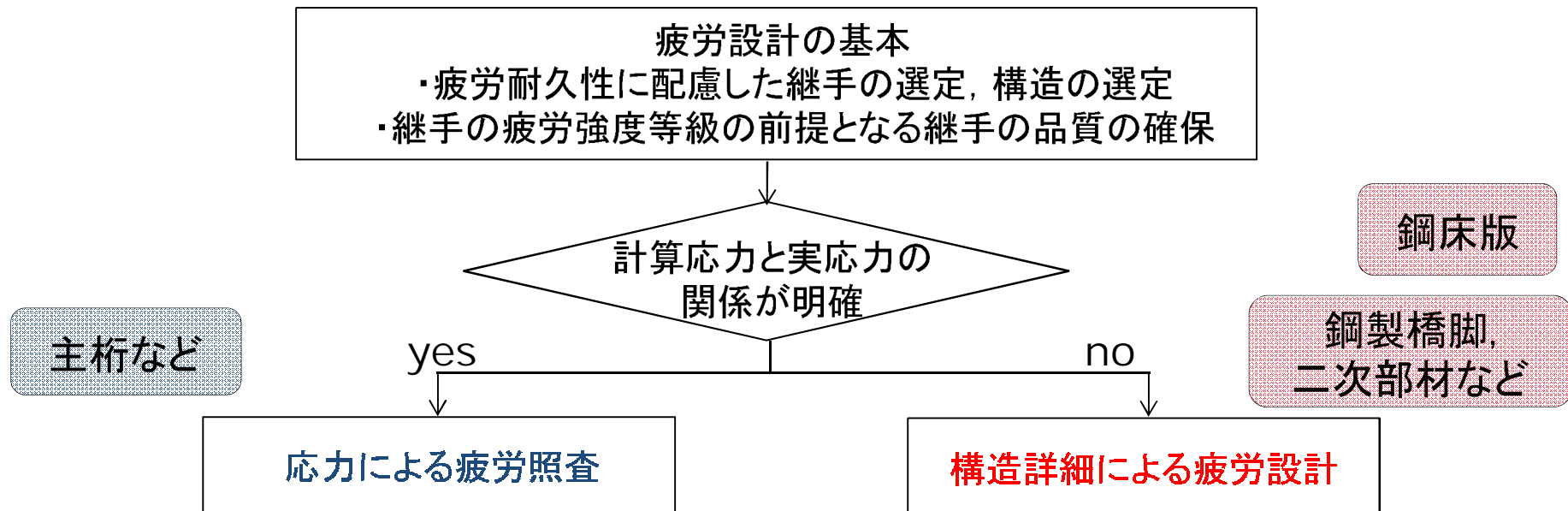


例：Uリブと横リブの交差部

# 道示における疲労設計の基本

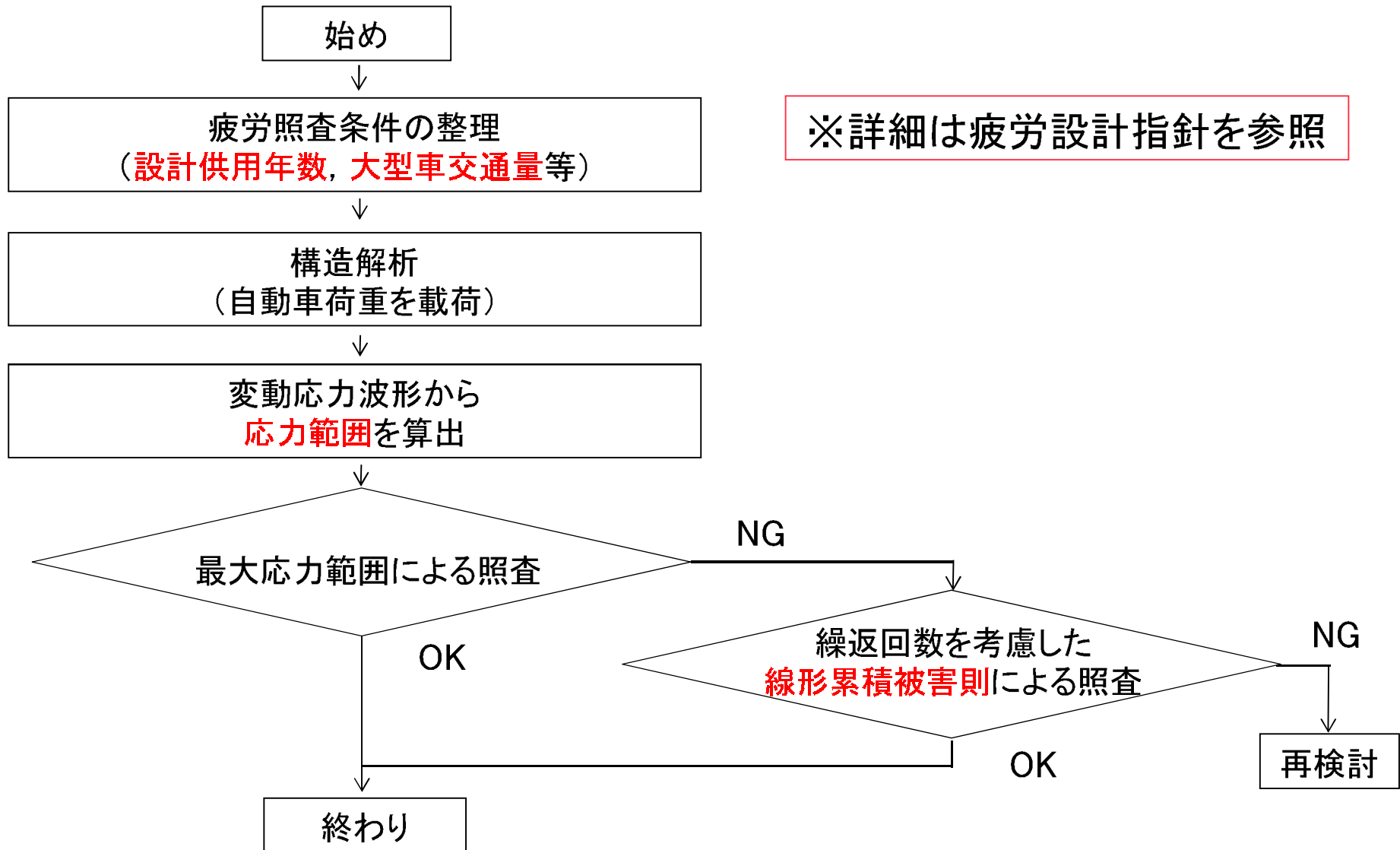
## 6.1 一般

- ・疲労強度が著しく低い継手及び溶接品質確保が難しい構造の採用を回避
- ・活荷重等による応力変動の影響を評価して必要な疲労耐久性を確保
- ・計算応力と実応力との関係により、下図のとおり設計



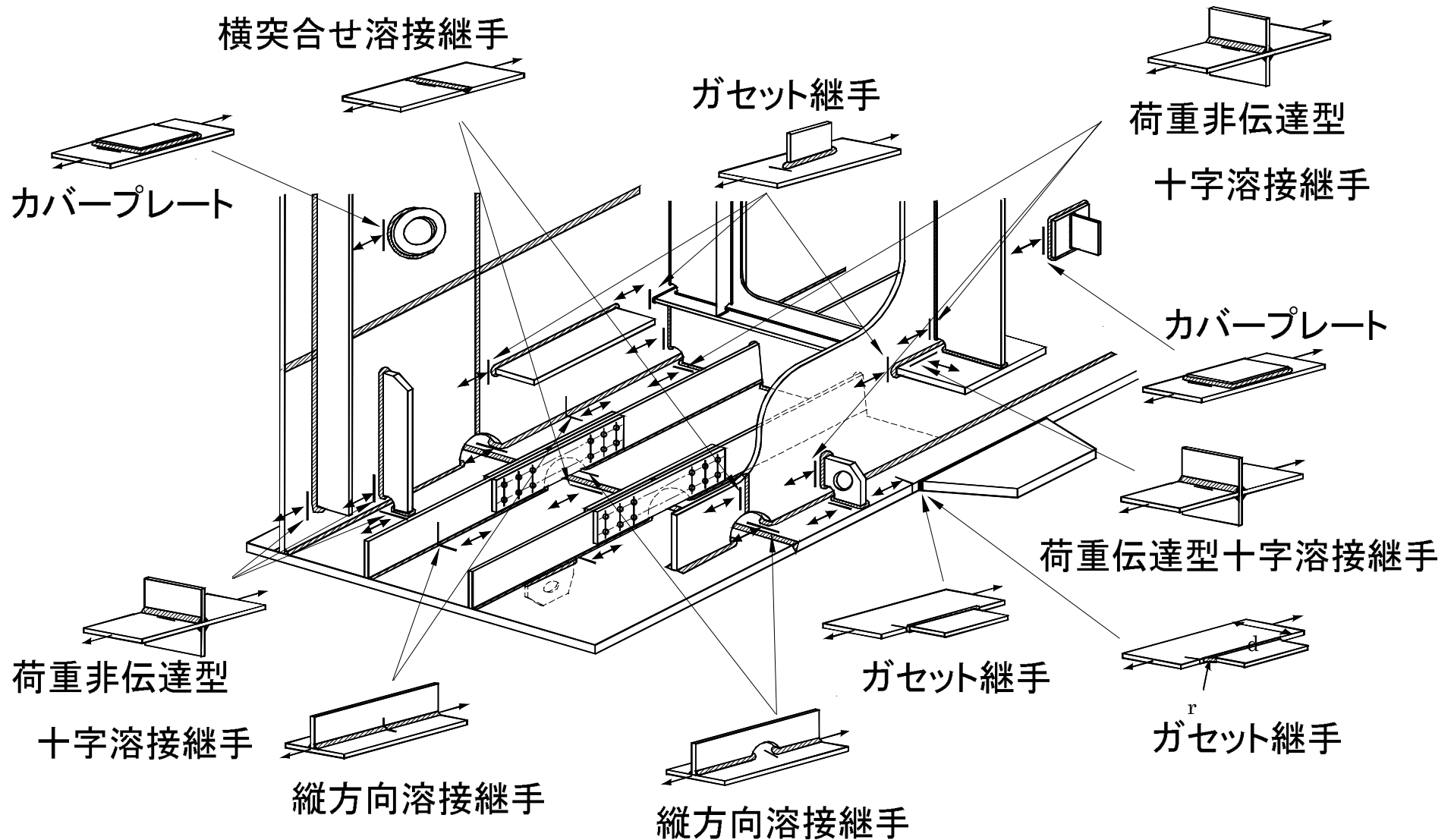
道示における疲労設計法

# 「応力による疲労照査」の基本的な考え方





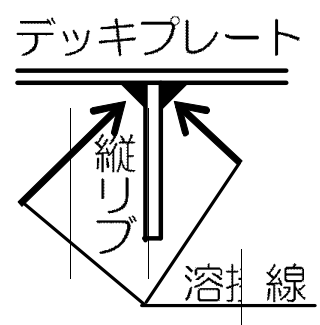
# 鋼橋に用いられる継手の例



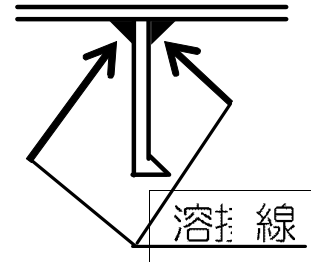
鋼箱桁橋に用いられる継手の例

出典: 鋼道路橋の疲労設計指針, 2002.3.

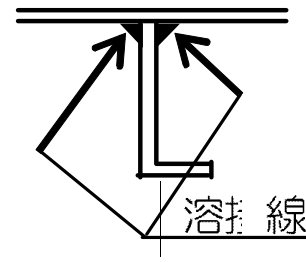
# 鋼床版の主な縦リブ形状



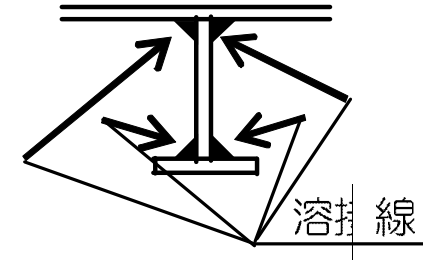
平リブ



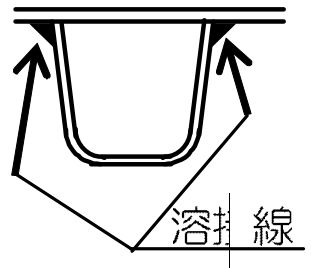
バルブリブ  
(球平形鋼)



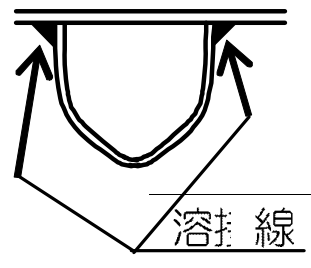
アングルリブ  
(不等辺山形鋼)



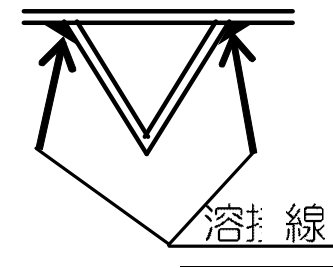
Tリブ  
(CT鋼)



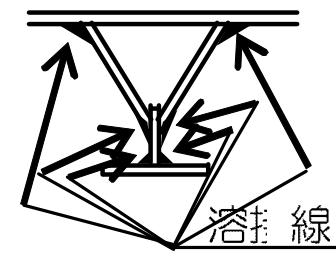
トラフリブ  
(Uリブ)



丸形断面リブ



V形断面リブ  
(Vリブ)

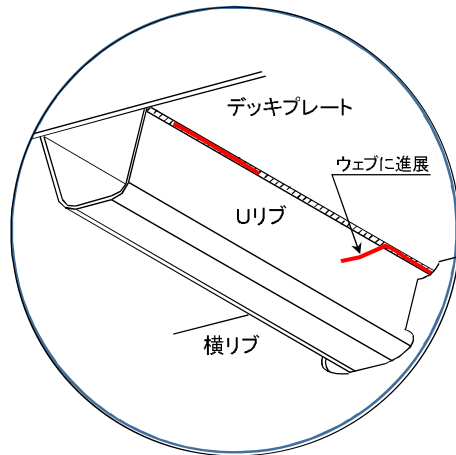


Y形断面リブ  
(Yリブ)

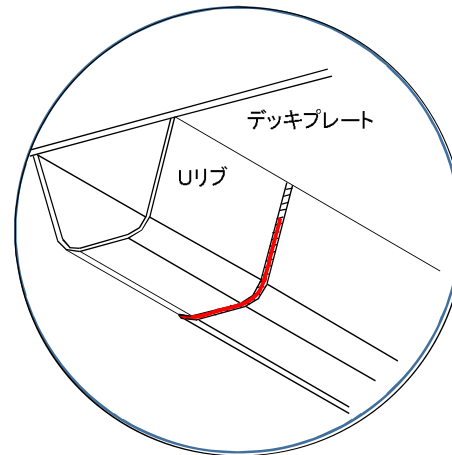
参考：鋼道路橋設計便覧，1979.2.

# 鋼床版の主な損傷部位

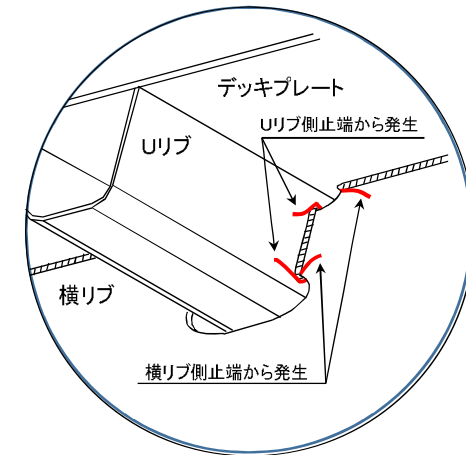
輪荷重走行位置直下周辺の溶接部のき裂に注意が必要



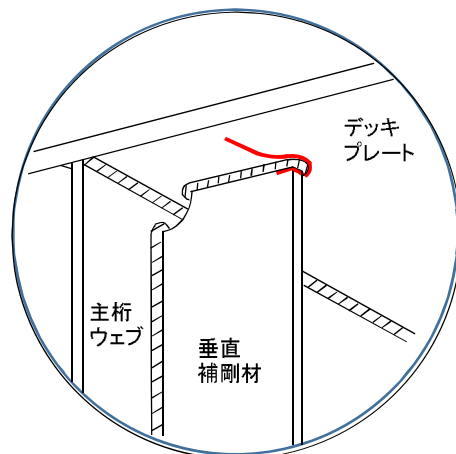
SD1. デッキとUリブの溶接部(ビード進展)



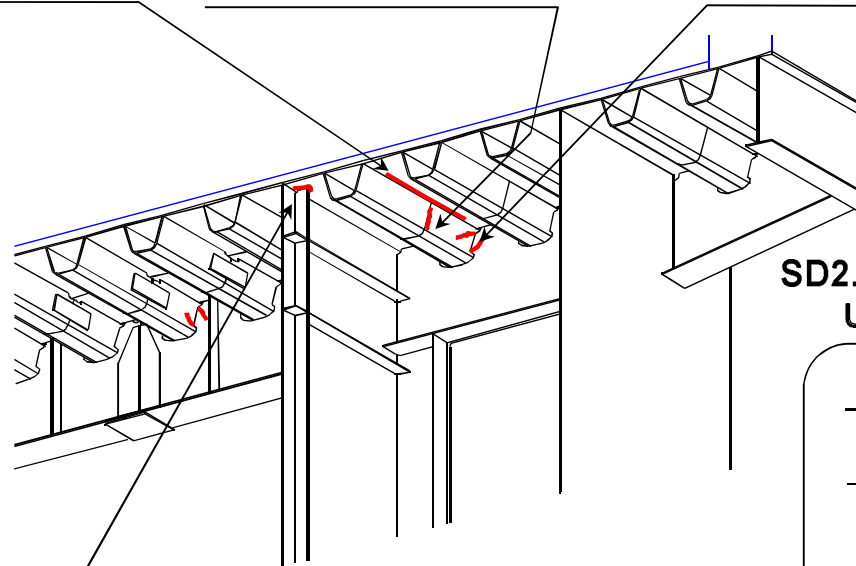
SD3. Uリブ現場溶接部



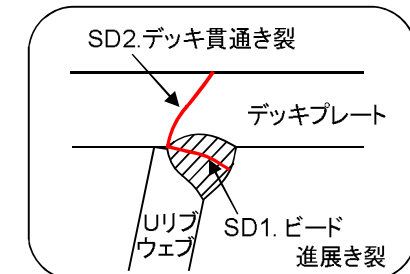
SD4. 横リブとUリブの交差部



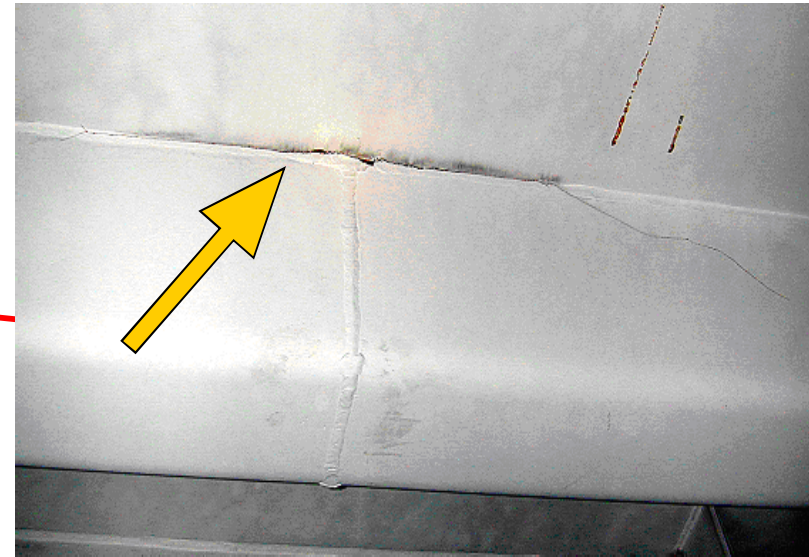
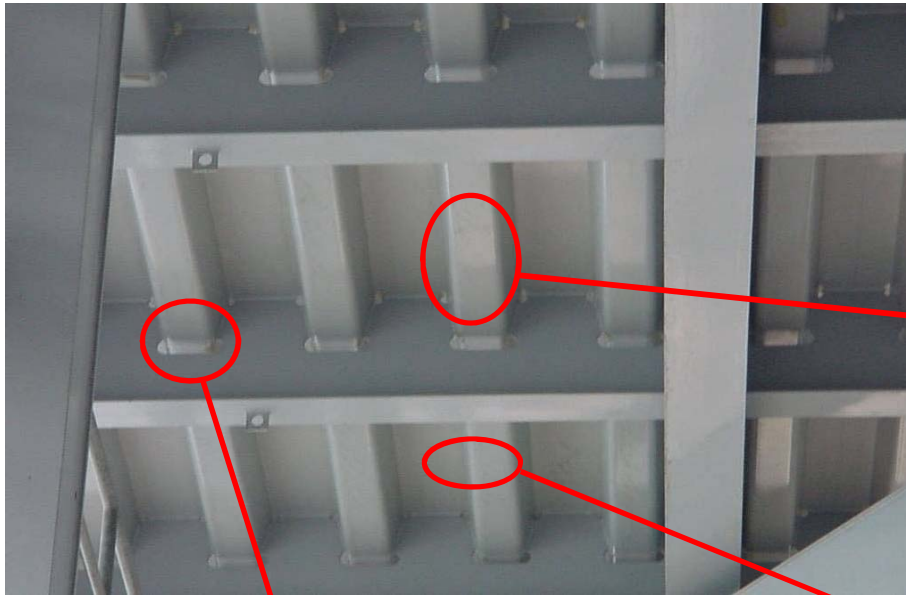
SD4. デッキと垂直補剛材の溶接部



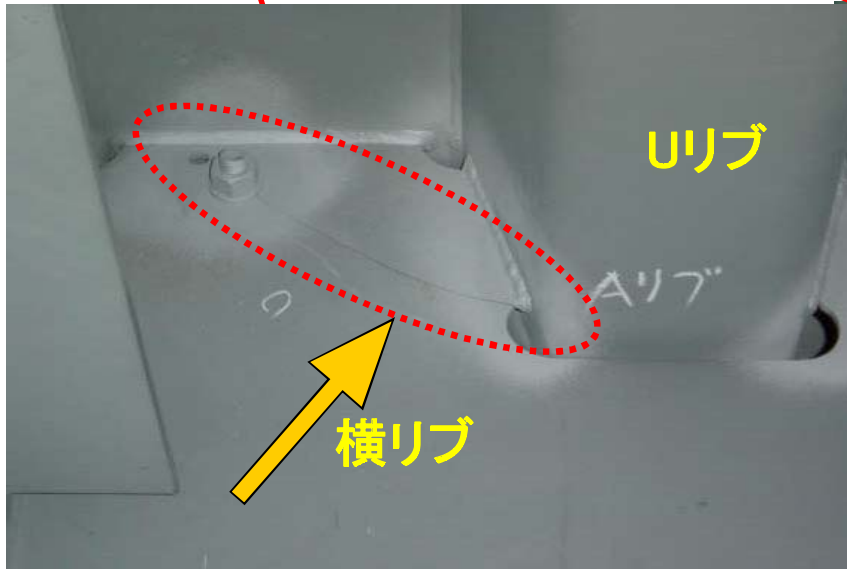
SD2. デッキとUリブの溶接部(デッキ貫通)



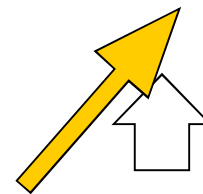
# 鋼床版の疲労損傷



縦リブとデッキプレートの継手部



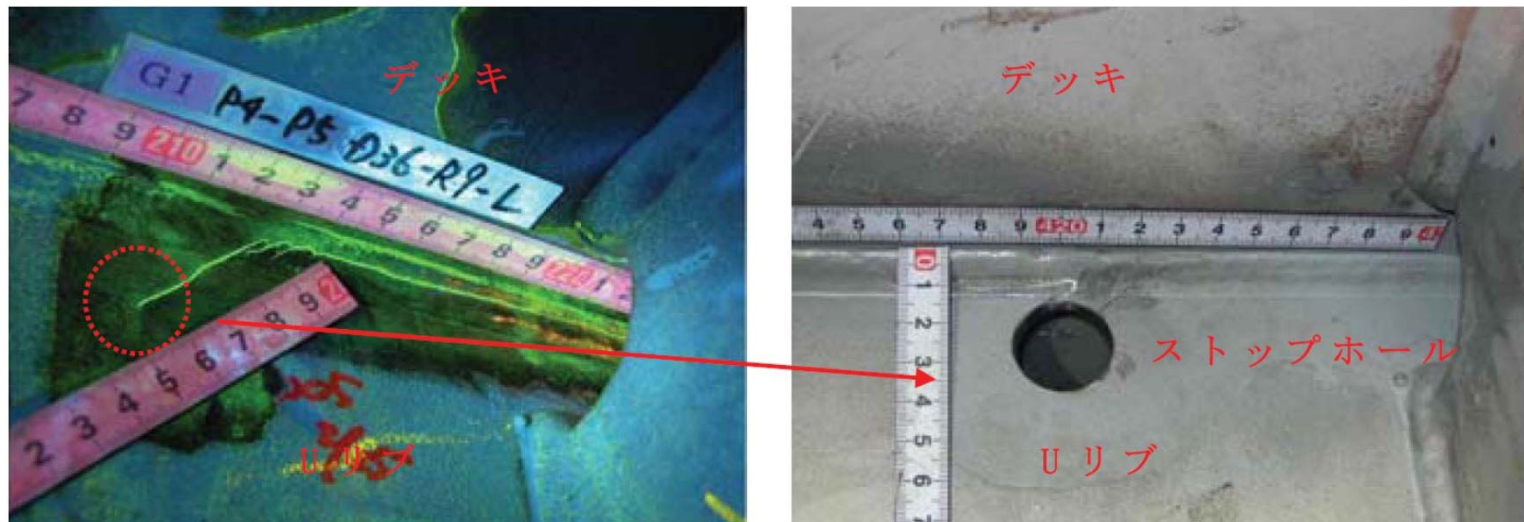
横リブと縦リブ交差部



縦リブ溶接部

# ビード進展き裂

- ・溶接に沿って長く進展したき裂や、枝分かれして縦リブ内、デッキ内に進展していくき裂が報告されており、デッキ進展き裂と同様に注意が必要。
- ・枝分かれしてデッキに進展し、縦リブ内へ長く進展している場合には、デッキ進展き裂と同様に供用性に影響を及ぼすおそれ。当て板補強などの応急措置を検討。
- ・溶接線からはずれて縦リブ内に進展したき裂については、き裂の進展を一時的に遅延させるためにストップホールの設置が行われる場合がある。



縦リブ内(母材内)に進展したき裂に対するストップホール設置状況

# ビード表面に進展するき裂の事例

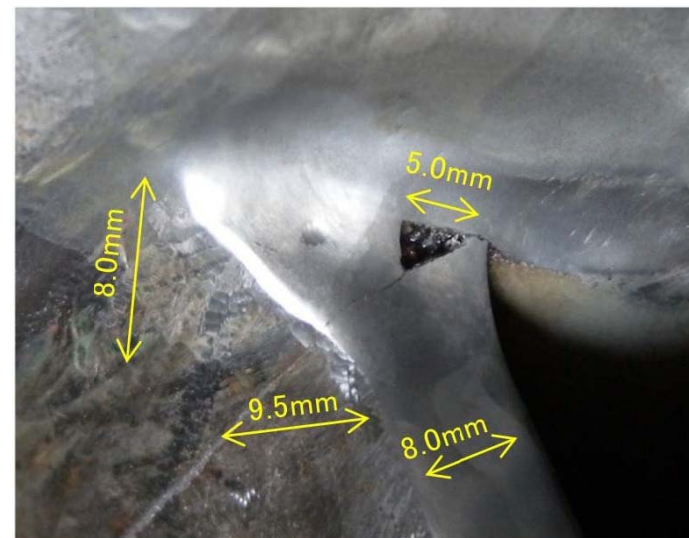


横リブ交差部のき裂



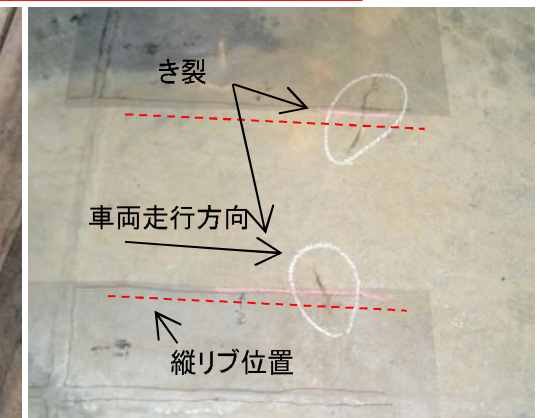
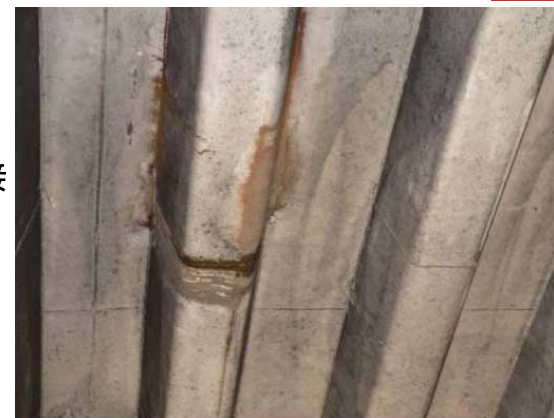
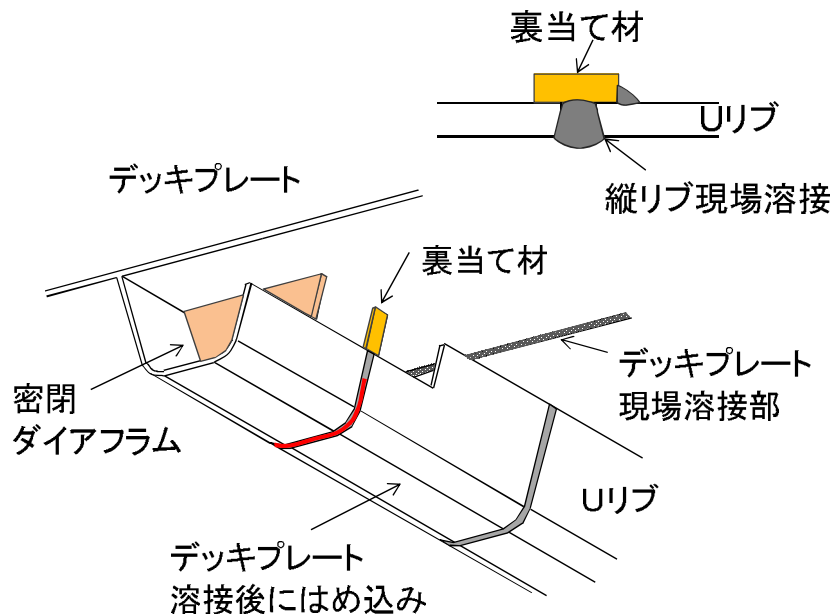
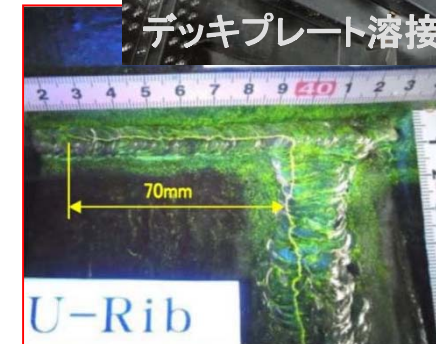
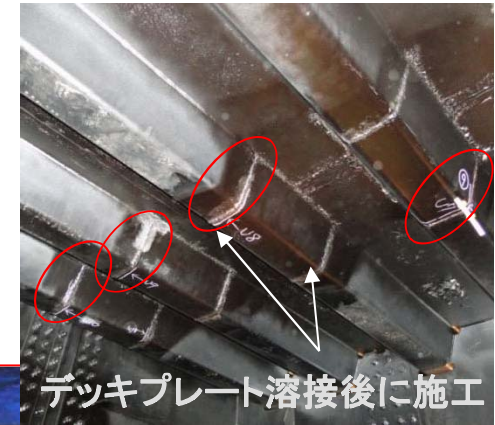
支間部のき裂

溶接部の溶込み  
形状の例



# 突合せ溶接継手のき裂

- ・縦リブの作用力により溶接に沿って確実に進行。  
デッキを貫通、もしくは溶接ビード沿いに進展。
- ・上向きの現場溶接による施工のため、部材取合いの初期不整、施工品質の影響を受ける場合があり、これによりき裂の発生状況も異なる場合がある。
- ・溶接部の形状不整に起因して塗膜が劣化しやすく、塗膜割れと見分けられない場合あり。塗膜を除去し、磁粉探傷試験によりき裂の有無を確認。
- ・破断部に対して、当て板による継手機能の回復を図ることが必要。



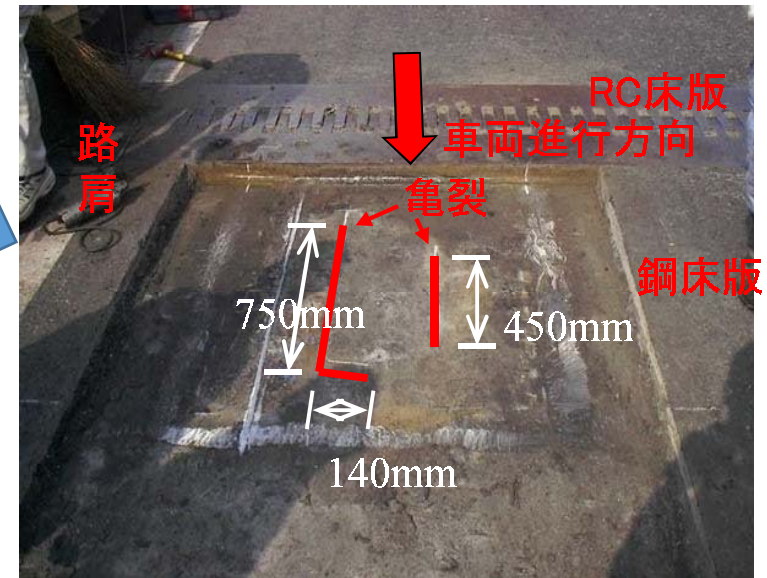
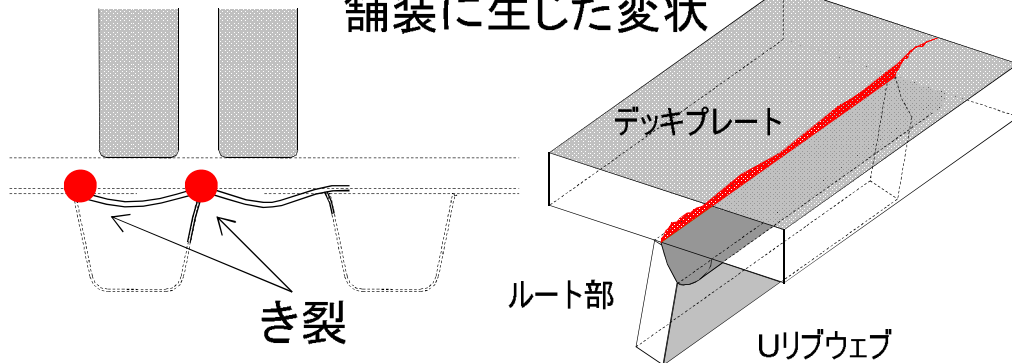
(a) 下面側の損傷状況 (b) 舗装下のデッキプレート面の状況  
突合せ溶接部のき裂が進展しデッキプレートを貫通した例

# デッキ進展き裂

- ・損傷橋梁(デッキ厚は主に12mm)の特徴
  - ・重交通路線で、供用開始から10~30年程度
  - ・輪荷重走行位置直下であり、概ね大型車のダブルタイヤが跨ぐ載荷条件
- ・目視困難なため、適宜、超音波探傷試験や、舗装を除去した上でのき裂の調査を検討。
- ・貫通時には供用性に影響を及ぼすおそれ。路面等の変状の兆候の早期発見に努めるとともに、詳細調査などを実施。発見後は、ただちに当て板補強等の応急措置が必要。



舗装に生じた変状



舗装をはつったところ



# デッキ進展き裂

- ・輪荷重直下の舗装の損傷状況や他のき裂の発生状況によっては、デッキ上面からき裂の有無を確認
- ・デッキ貫通後には、き裂部からUリブ内へ浸入した水、舗装片、土砂等が堆積。適宜、溶接損傷部からの漏水の有無を確認するとともに、縦リブ内の滞水等の有無に注意



き裂部からの漏水  
(Uリブ内の滞水が疑われる。)

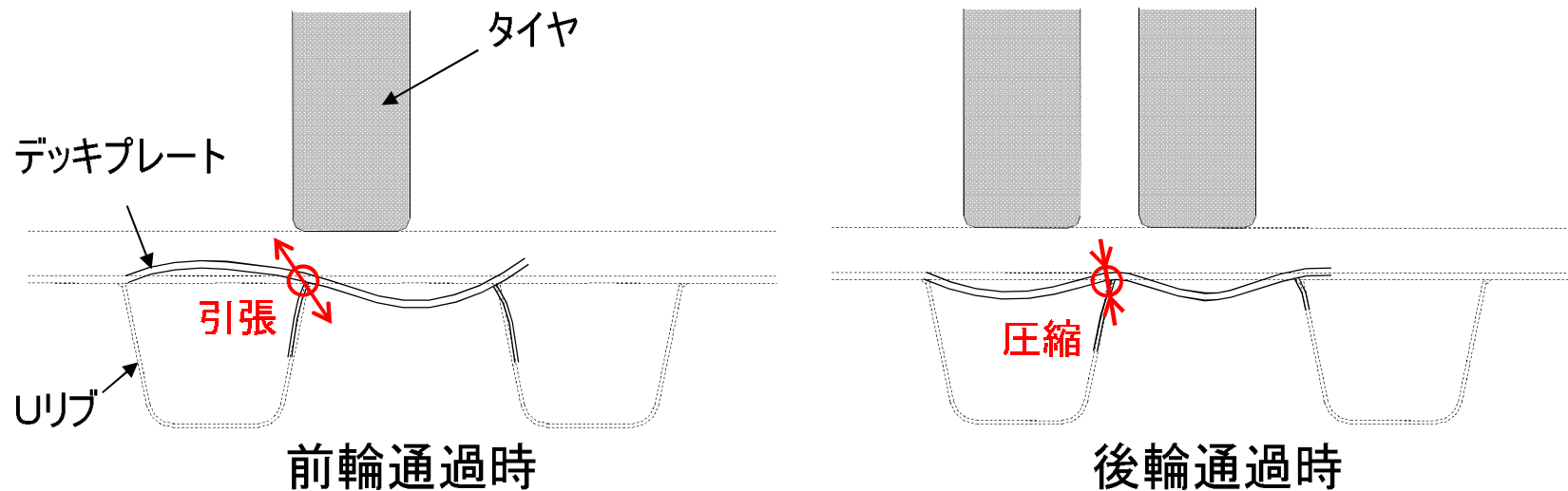


縦リブ内の堆積物  
(デッキ貫通き裂部からの浸入。)

# デッキプレート進展きれつの損傷原因

きれつ発生に寄与していると考えられる要因

- デッキプレートが薄いことによる局部変形
- デッキプレートとUリブの剛性バランス



変形イメージ図

# 構造詳細による疲労設計(鋼床版)

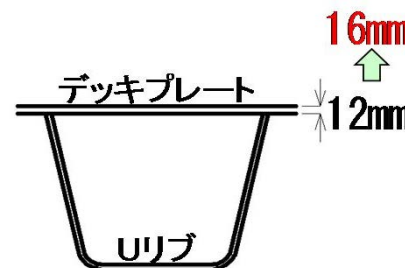
## 【背景】

- ・閉断面縦リブを有する鋼床版デッキ貫通亀裂の事例に対し、当面の措置として輪荷重常時載荷位置のデッキ最小板厚を16mmに増厚(H21 事務連絡)

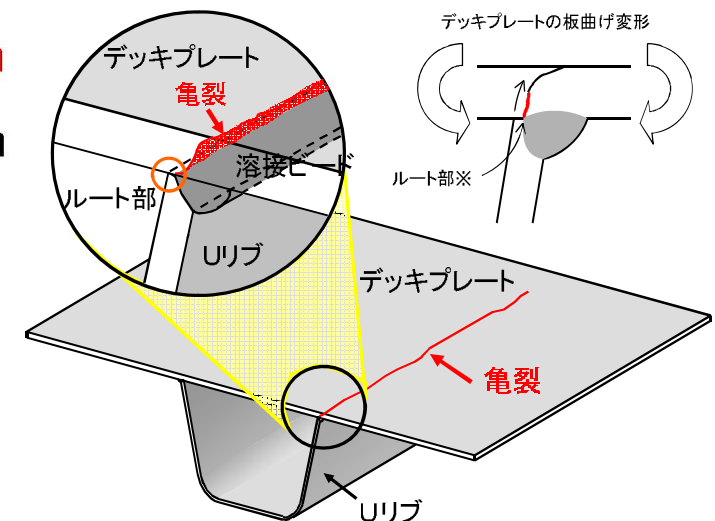
## 【改定内容】

### 9.4.5 デッキプレートの最小版厚

- ・その後の損傷実態や研究成果等を踏まえ、デッキを厚板化
- ・Uリブの場合、大型車の輪荷重が常時載荷される位置直下のデッキ板厚を16mm以上を標準
- ・デッキの板厚以外の構造細目は道示及び疲労指針を標準
- ・バルブプレート、平板リブ等を使用する場合は、車道部分のデッキの板厚は従来どおり。



亀裂上の舗装に生じた変状



# 構造詳細による疲労設計(鋼床版)

## ■適用範囲を限定した上で、疲労耐久性が確保できる細部構造等の構造詳細に関する事項を規定

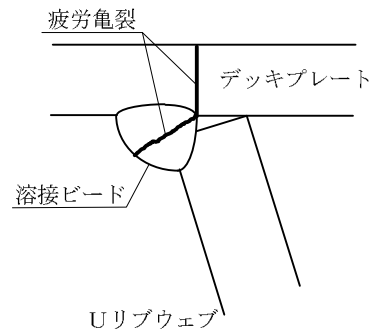
### 【適用範囲】

- ・デッキ板厚 :  $12\text{mm} \leq t \leq 16\text{mm}$
- ・縦リブ支間 :  $L \leq 2.5\text{m}$
- ・縦リブ形式 : バルブプレートリブ、平板リブ、閉断面リブ (U-320X6, U-320X8)

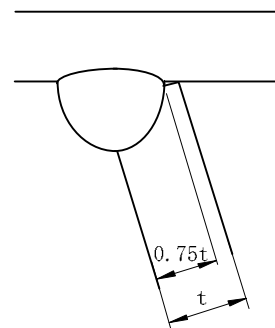


### 【規定の例 (閉断面リブとデッキの縦方向溶接)】

閉断面リブとデッキプレートの縦方向溶接継手は、必要など厚を確保するとともに、リブ板厚の75%以上の溶込み量を確保するものとする。



従来の溶接ビード



75%溶け込み確保の溶接

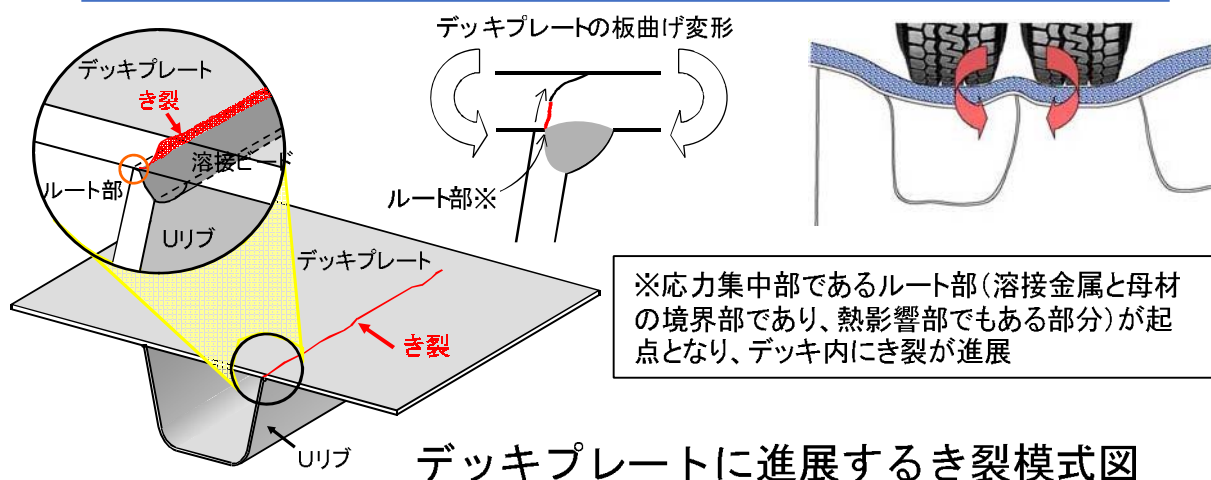
# デッキプレート最小板厚の見直しについて

【平成21年12月事務連絡】

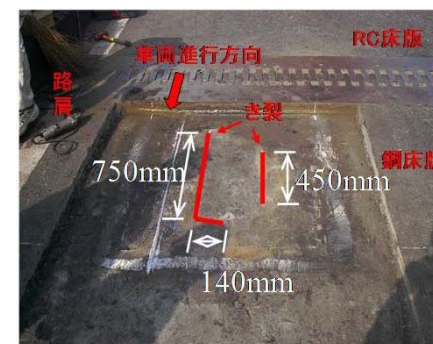
閉断面リブ（Uリブ）を使用する場合、大型車の輪荷重が常時  
載荷される位置直下においては、デッキプレートの板厚は16  
mm以上とすることを標準とする。

〈補足説明〉

- ・ デッキ進展き裂の大半が最小板厚12mmのデッキプレートにおいて報告されている
- ・ 板厚以外の構造細目については指針のとおりとする
- ・ 閉断面リブを使用する場合には、デッキプレートの板厚は指針のとおりとする

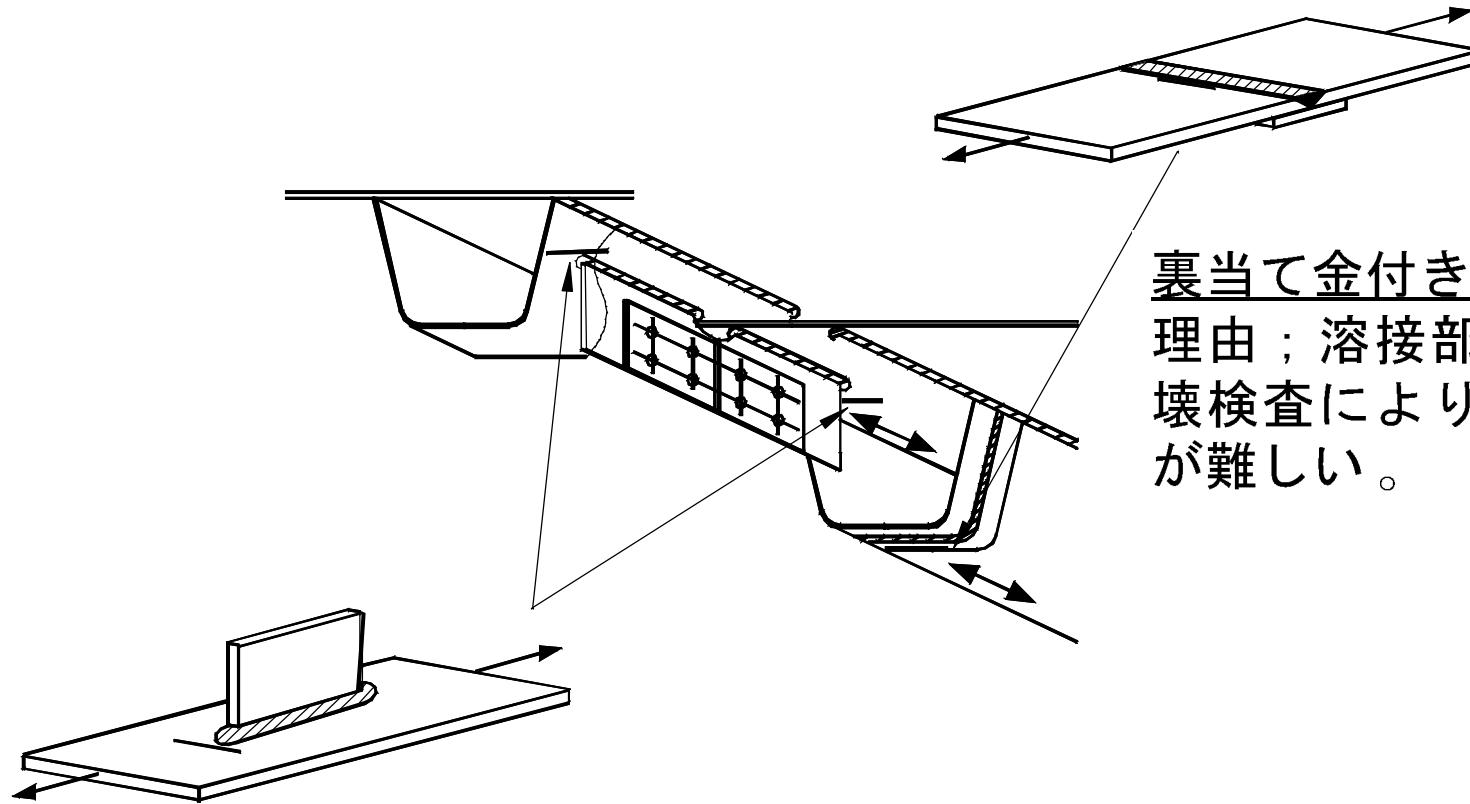


舗装に生じた変状



舗装をはつった状態  
(Uリブの両側の溶接部に発生)

# 耐久性上望ましくない継手の例(鋼床版)



## 裏当て金付き

理由；溶接部の品質を非破壊検査により保証することが難しい。

## 面外ガセット

理由；維持管理上疲労き裂の発生を確認することが難しい。

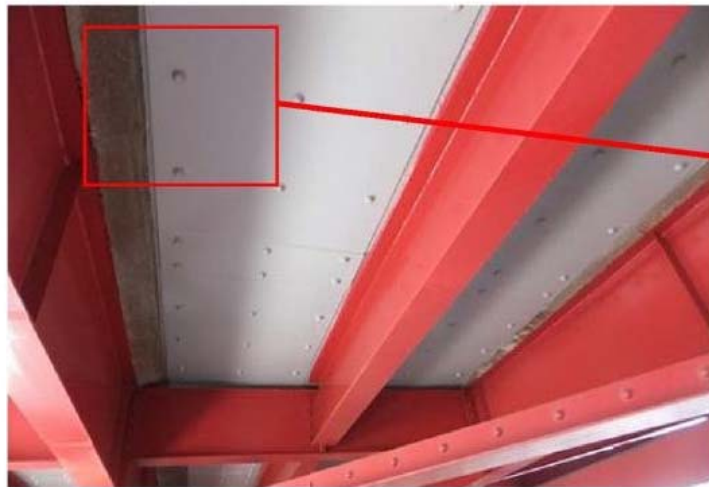
# 鋼コンクリート合成床版のマニュアル (新技術評価のガイドライン)

# 鋼コンクリート合成床版（合成床版）

## ■ 鋼板接着補強されたRC床版との見分け方

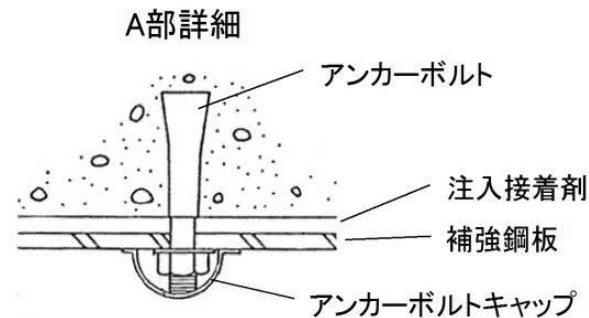
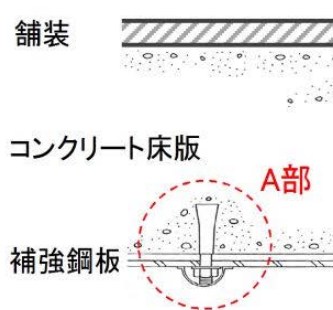
既設RC床版などを鋼板接着補強している床版と間違わないように、**建設時期、図面、設計図面等を事前に確認**しておくことが必要

**鋼板端部と鋼桁上フランジの間にシール材**がはさまれていることを確認



鋼板接着補強

端部シール材処理

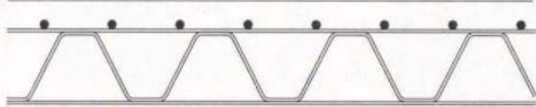


鋼板接着断面詳細図

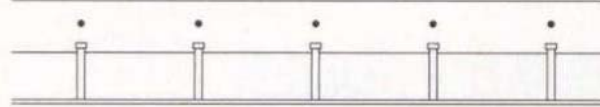


# 鋼橋の部材設計 鋼コンクリート合成床版の例

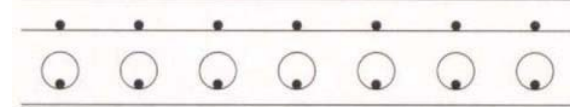
トラス型ジベル合成床版



ロビンソン型合成床版



帯板ジベル合成床版



出典: 橋建協資料

多様な形式があるが、設計・施工法については道示に具体的規定がなく形式毎及び採用橋梁毎に個別に照査が必要

# 合成床版の性能検証の例

## ■ 道路橋示方書の要求性能

### ・立体的機能

橋の断面形の保持，剛性の確保，横荷重の支承への伝達が図れる構造とする。

### ・耐荷力性能

直接支持する活荷重等の影響に対して安全なようにする。

### ・供用性能

荷重に対して疲労耐久性を損なう有害な変形が生じないようにする。

### ・疲労耐久性能

自動車の繰返し通行に対して疲労耐久性が損なわれないようにする。

### ・耐久性能

鋼材，コンクリートに供用期間中に有害な錆，劣化が生じないようにする。

### ・維持管理性能

点検および補修・復旧が容易である。

### ・荷重分配機能

床版に主桁間の荷重分配作用を考慮した設計を行う場合には，その影響を適切に評価し，それらに対して安全なようにする。

### ・横荷重抵抗機能

地震の影響や風荷重等の横荷重に対して床版が抵抗する設計を行う場合には，その影響を適切に評価し，それらに対して安全なようにする。

# 合成床版の性能検証の例

## ■ 耐荷力性能

対応策	検証の手法
<ul style="list-style-type: none"><li>・平面保持, 等方性, ヤング係数比の確認</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・土研輪荷重走行試験の結果とFEM解析の対比</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>・曲げモーメントに対する照査</li><li>・せん断力に対する照査</li><li>・曲げ耐荷力の照査</li><li>・押抜きせん断耐荷力の照査</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・曲げ応力度: RC断面計算と同様</li><li>・せん断応力度: FEM解析</li><li>・曲げ耐荷力: 設計曲げモーメントに対する終局曲げモーメントの比率</li><li>・押抜きせん断: 大阪大学での実験の結果よりかぶり部分のコンクリートの押抜きせん断耐荷力</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>・ずれ止めの照査</li><li>・継手部の照査</li><li>・輸送時・架設時の照査</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・孔あきジベル: 鋼構造物設計指針PART B</li><li>・底鋼板継手部: 高力ボルトの継手</li><li>・輸送時・架設時: FEM解析</li></ul>

出典: 土木技術資料, 2008.6.

# 合成床版の性能検証の例

## ■ 疲労耐久性能

対応策	検証の手法
・床版としての疲労耐久性照査	・輪荷重走行試験による基準床版(RC)との比較
・主桁作用負曲げ部の疲労耐久性照査	・引張応力作用下における輪荷重走行試験
・鋼材部応力範囲照査 ・コンクリート内部の応力状態照査 ・コンクリート部応力範囲照査	・鋼道路橋の疲労設計指針の手法準用 ・FEM解析 ・曲げ応力振幅を既往の床版のレベルと対比
・継手部の疲労耐久性照査	・輪荷重走行試験における継手部の目開き量
・滞水状態における耐荷力の照査 ・腐食状態における耐荷力の照査	・鋼板パネルのみモデルによるFEM解析 ・腐食時断面モデルによる安全率照査
・床版防水システムの設置 ・滞水抑制システムの設置 ・コンクリート充填試験による施工方法の確認	

出典：土木技術資料，2008.6.

### Ⅲ 道路橋示方書の改定と床版

# ①. 要求性能とその明確化

## ■ 耐荷性能

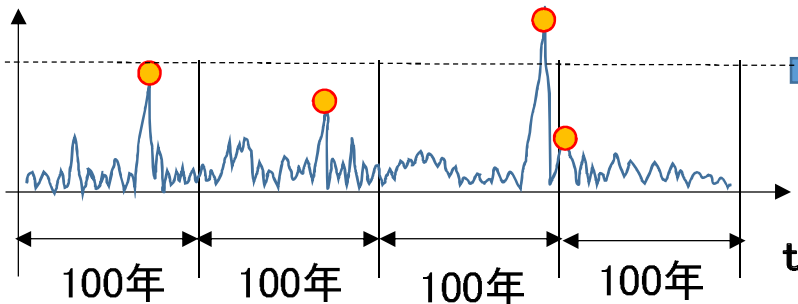
供用中の「任意の時刻」の耐荷力を保証

## ■ 耐久性能

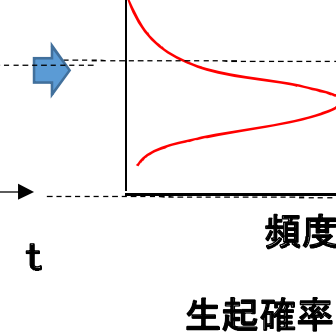
目標期間中、耐荷性能が保持されることを保証



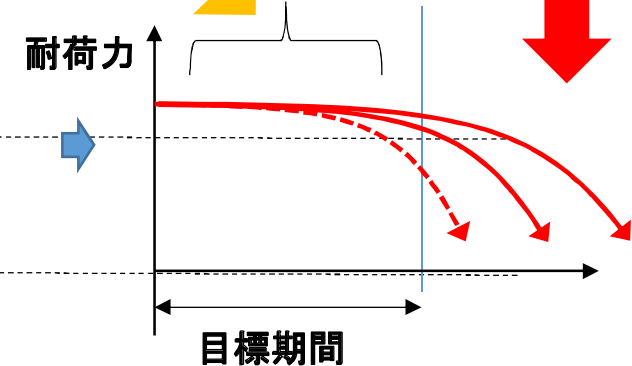
作用の大きさ



作用の大きさ



耐荷力





## 要求性能とその明確化

### ■ 耐荷性能

所要の限界状態を越えないことを保証

- 部分的にも損傷が生じておらず、**機能が損なわれていない状態。**
- 部分的に損傷が生じているが、機能に及ぼす影響は限定的であり、**速やかに機能の回復が行いうる状態。**
- **致命的でない状態**

(道路橋示方書 (H29) )

### ■ 耐久性能

設計供用期間に対する説明性を要求

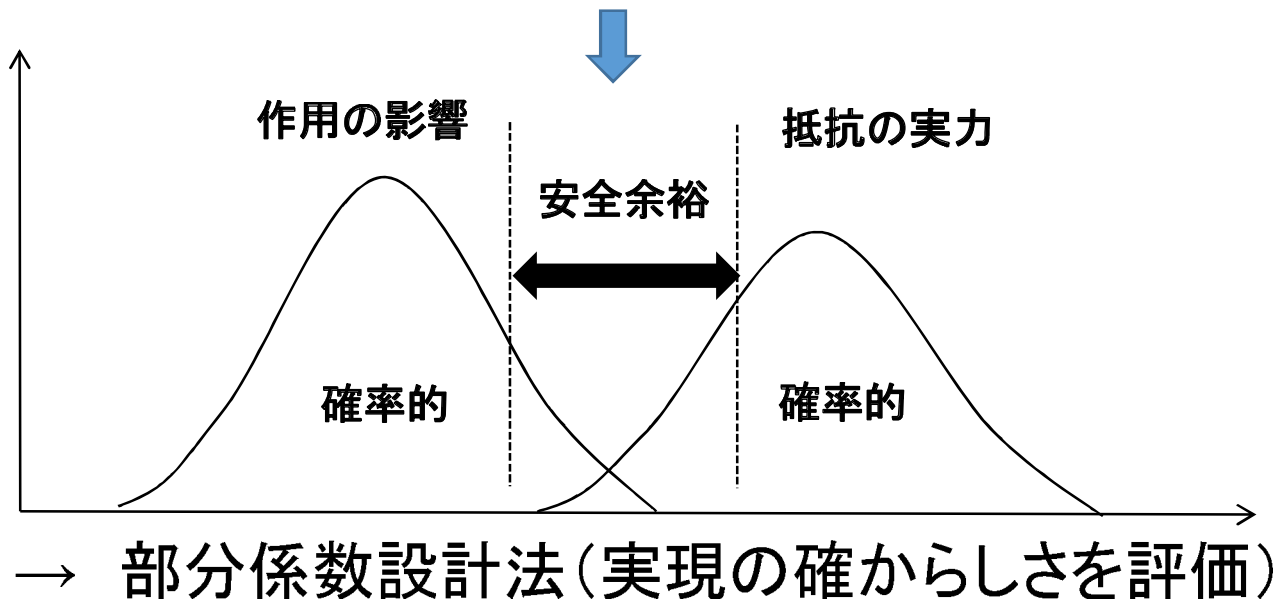
- 橋の設計にあたっては、**設計供用期間を定めなければならない。**
- 橋の設計供用期間は**100年を標準とする。**

(道路橋示方書 (H29) )

## ②. 性能達成の見込みを保証

### ■ 耐荷性能における性能達成の見込み

作用の影響が、抵抗の実力を上回らない可能性を保証



では、耐久性能の達成見込みの保証は？



耐荷性能が、目標期間末まで維持される可能性が保証される必要がある。

