

第 1 2 回 鋼構造技術継承講演会

「経験豊富な先人に学ぶ次世代への継承技術」

配布資料

令和 6 年 1 2 月 9 日

土木学会 鋼構造委員会

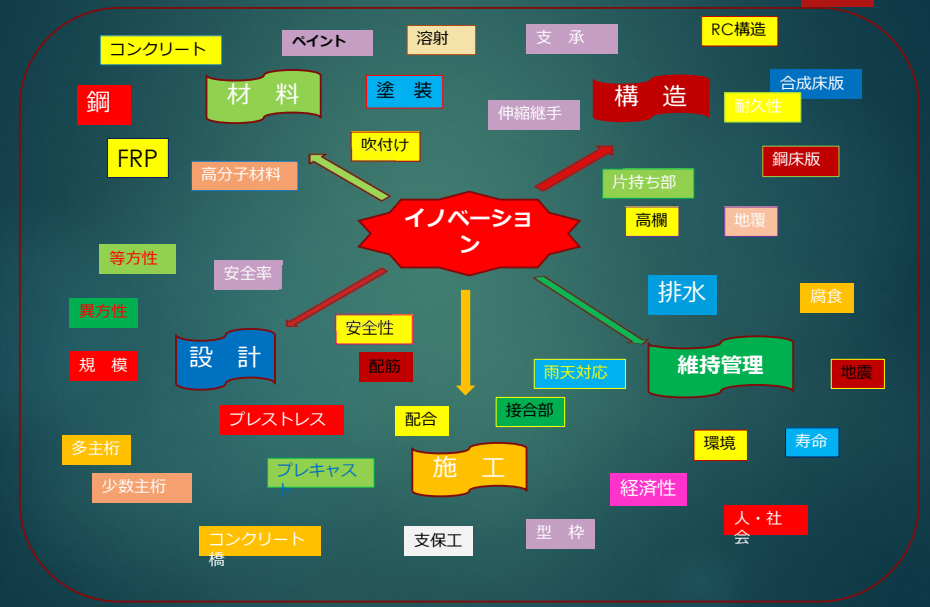
第12回 鋼構造技術継承講演会

道路橋RC床版の劣化から取替まで

(令和6年12月9日)

大阪大学名誉教授・大阪工業大学客員教授
工学博士 松井 繁之

道路橋床版のイノベーション



1. プロローグ

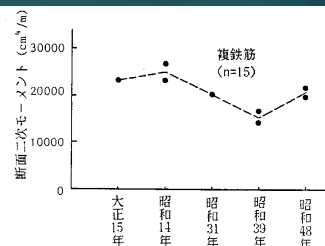


図-20 断面二次モーメントの変遷。

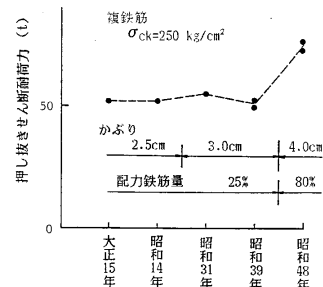


図-21 押し抜きせん断耐力の変遷。

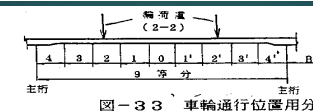


図-33 車輪通行位置用分割。

表-22 ひびわれパターンの分類。

分類	写真	説明	分類	写真	説明
1		2-1 パネル全面クラック方向主筋。配力筋方向共同等 (80)	20		8-1 ハンチ+支間1/4クラック主筋方向 (19)
2		2-2 パネル全面クラック主筋方向成分線筋 (28)	21		8-2 ハンチ附近クラック配力筋方向 (5)
3		2-3 パネル全面クラック配力筋方向成分線筋 (4)	22		8-3 クラック主筋方向 (82)
4		2-4 ハンチ附近 (11)	23		8-4 床版支間1/4クラック主筋方向 (6)
5		2-5 ハンチを除く全面クラック方向主筋。配力筋方向共同 (128)	24		8-5 床版支間1/4クラック主筋方向 (8)
6		2-6 ハンチを除く全面クラック主筋方向床筋 (85)	25		8-6 床版支間1/4クラック配力筋方向 (1)
7		2-7 ハンチを除く全面クラック配力筋方向床筋 (4)	26		8-7 床版支間1/4クラック配力筋方向 (9)
8		2-8 端パネルにおける隅内斜めクラック	27		8-8 端パネルにおける隅内斜めクラック (1)
9		2-9 床版支間1/4附近			
10		2-10 床版支間1/4附近			

但し、欄外の中の () 数値は、本欄外における観測当数

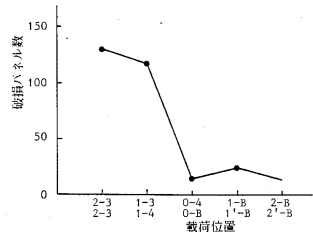
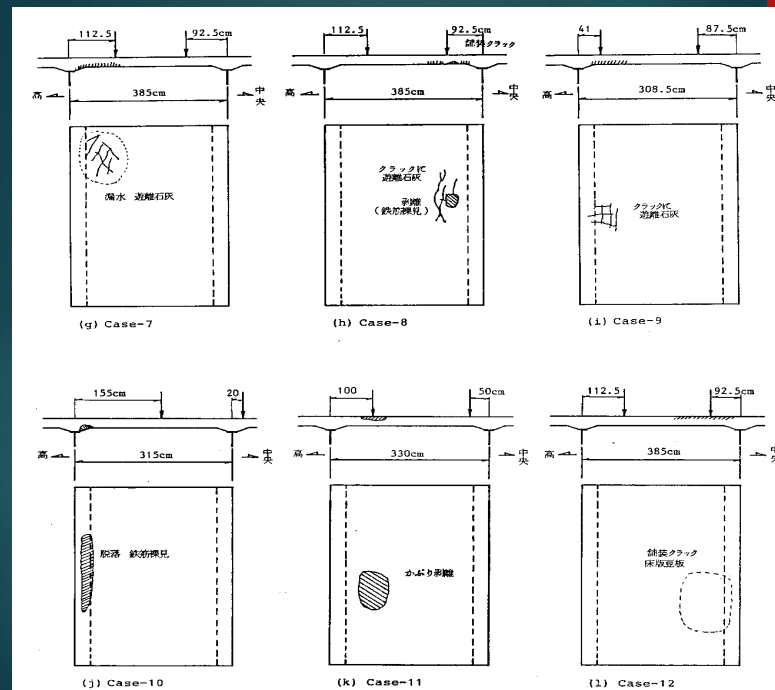
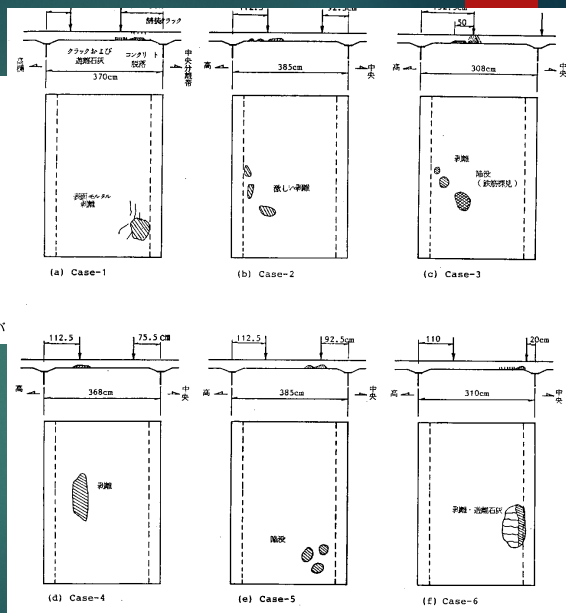


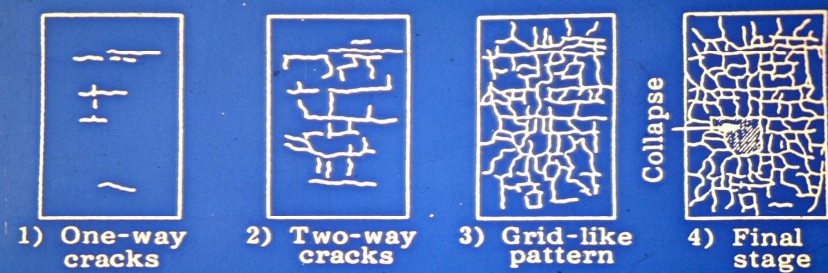
図-34 歩行位置と破損パネル数の関係 (全数298パ)



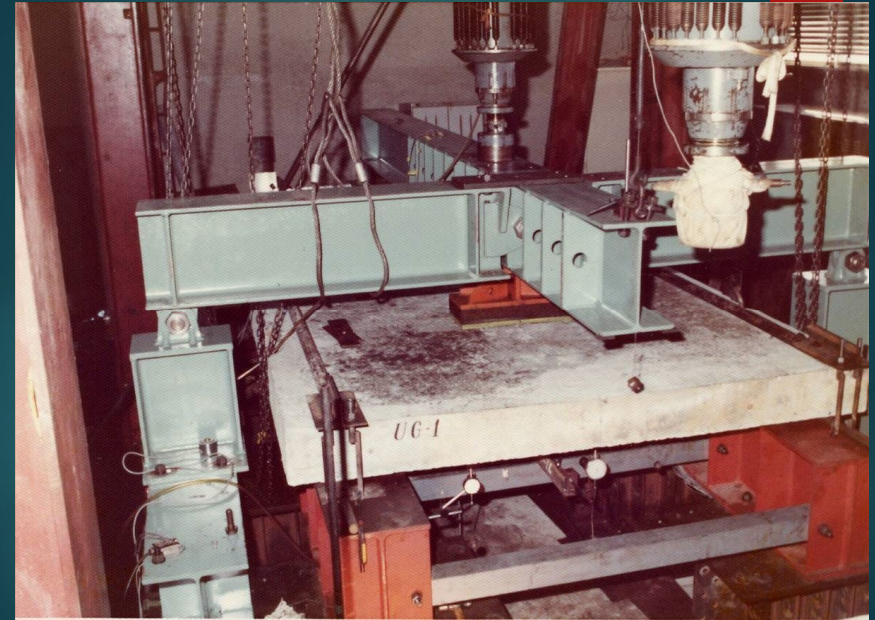
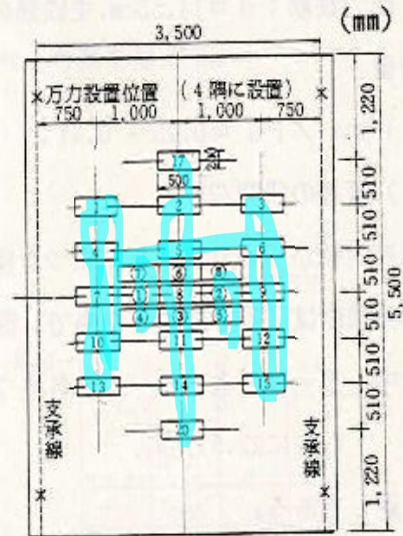
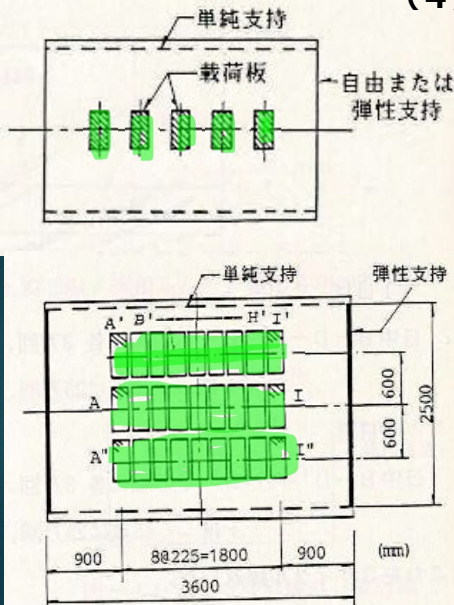
(RC床版の陥没破壊！)



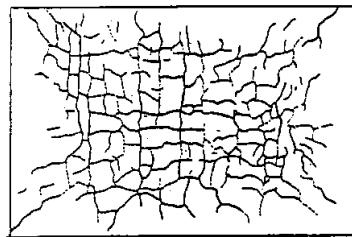
床版損傷のプロセス



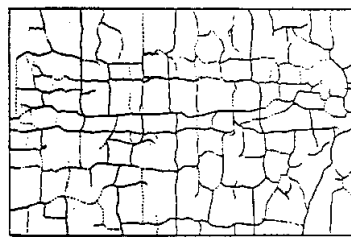
(4) 多点移動載荷法を考案



多点移動載荷による床版下面のひびわれ
➡ 実橋と同じものの再現！



(a) 移動繰返し実験によるひびわれ



(b) 実橋床版のひびわれ

図-21 移動繰返し載荷による床版下面ひびわれの1例/6/ .

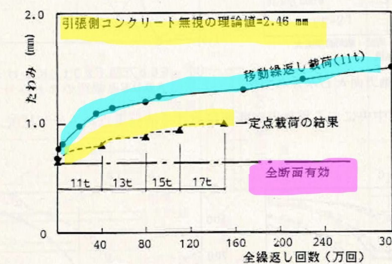


図-25 文献 27)の実験における

破壊は鉄筋が数本疲労破断し、その後、陥没破壊！

実橋では鉄筋は全く疲労破断なしで、コンクリートが陥没抜け落ちする！

実験は大変な労力を要する！

一回ずつ移動させるべき！

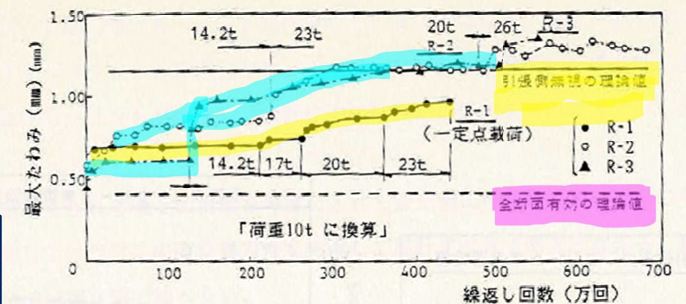


図-26 床版中央の最大たわみの繰返しに伴う変化状況

3. 外的要因

大型車重量？
特に軸重？

実交通荷重の
計測研究も
平行実施

TYPE	Sort of trucks	Axle arrangement
TYPE 1	2-Axles Truck	
TYPE 2	3-Axles Truck (rear tandem)	
TYPE 3	3-Axles Truck (front tandem)	
TYPE 4	4-Axles Truck (tank truck)	
TYPE 5	4-Axles Truck (semitrailer)	
TYPE 6	5-Axles Truck	
TYPE 7	6-Axles Truck	

Fig. 5. Sort of Trucks and Axle Arrangement.

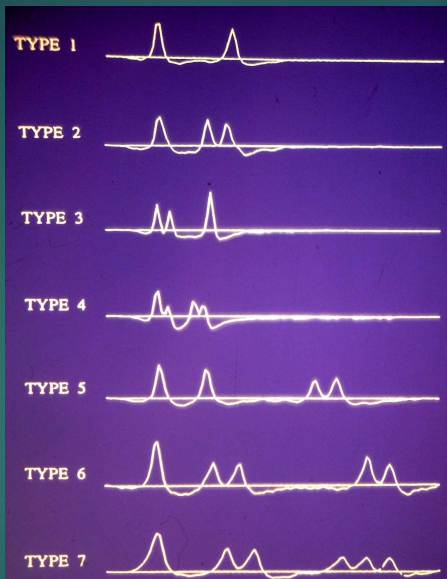
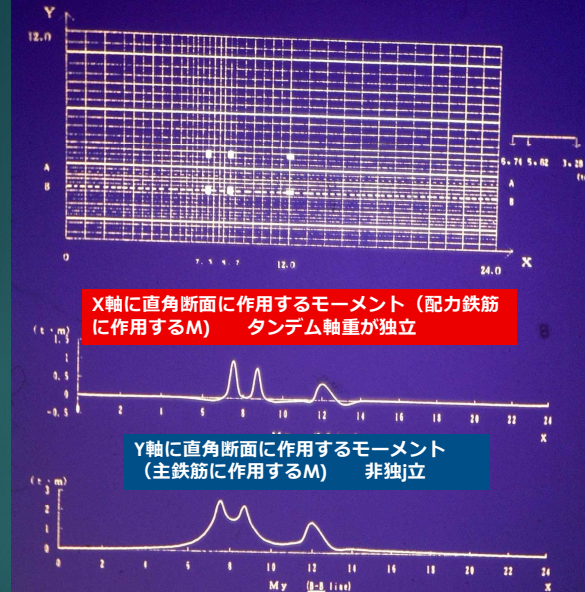


Fig. 6. Responses of Each Type of Truck.

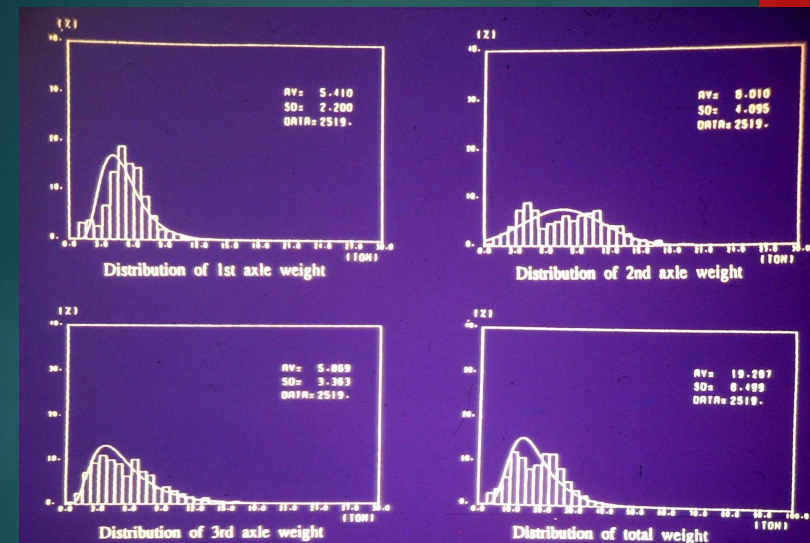
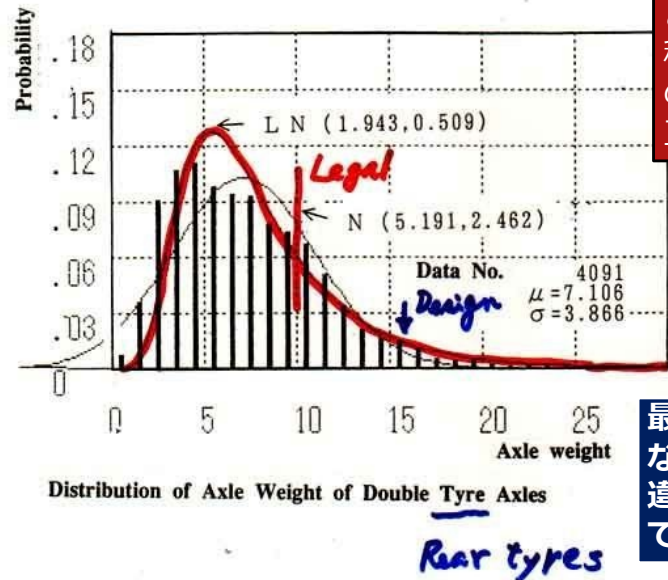


Fig. 8. Histograms of Each Axle and Total Weight of 3-Axles Truck by all Measured Data.

過積載車の後輪軸重の実態

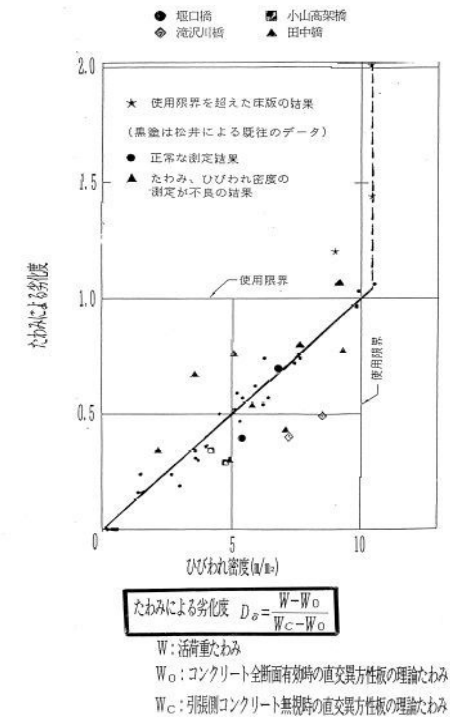


このような超過積載車はアジアの仏教徒国、農工民族の特徴？

最近は小さくなっている。違反車を軸重で！

たわみによる劣化とひび割れ密度の関係を

実橋床版で検証（14橋、27パネルでの载荷実験とたわみ解析で検証した。）



4. 道路橋と鉄道橋の違い？

道路橋は床版と言う傘を持つ 鉄道橋は雨ざらし

舗装もされ、これも含めて
床版が早期劣化する

構成の主桁横桁が早期腐食
諸部材の接合部に疲労キレツ
飛来土砂によって枕木下の塗
装が痛み、上横ガレスのガセ
ットの疲労がが起り易い

上載の輪荷重は同じくらい

輪荷重が小さい面積の载荷面に集中
荷重で作用し、疲労劣化が加わる

輪荷重はレールと枕木によって
分散される

高欄を持ち、それ自身が雨水と塩
で劣化しやすい。

一般的には高欄も持たない

常時荷重が移動する試験機の一号機が誕生

载荷能力：98～294kN(10～30tf)

輪荷重の走行範囲：200cm

载荷速度：28cycle/min

車輪－鉄輪：W=500mm φ=500mm



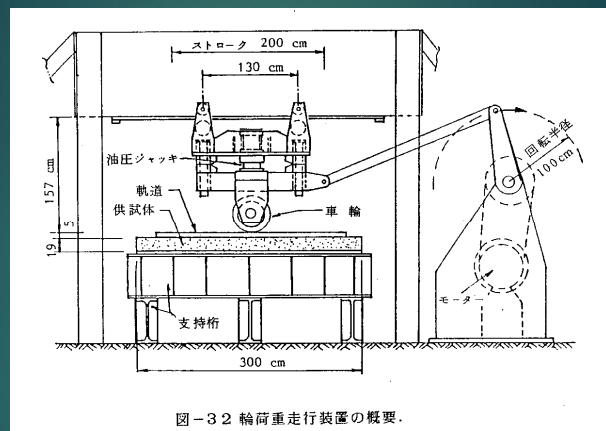


図-3.2 輪荷重走行装置の概要.

表-7 疲労実験供試体の載荷荷重,

供試体	DR-1	DR-2	DR-3	DR-4	DR-5	DR-7	DR-8
荷重(t)	14.2	20.0	16.0	16.0	14.2	22.0	26.5

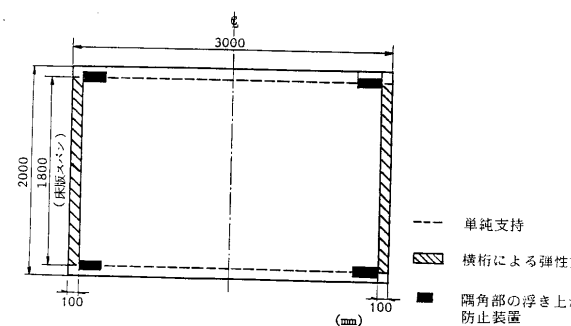


図-3.3 供試体床版の支持条件.

表-6 コンクリートの材料特性,

供試体	弾性係数	圧縮強度
DR-1	2.00×10^5 kg/cm ²	288 kg/cm ²
DR-2	1.61 "	189 "
DR-3	1.61 "	170 "
DR-4	2.54 "	307 "
DR-5	2.54 "	327 "
DR-6	3.03 "	415 "
DR-7	3.03 "	415 "
DR-8	2.35 "	320 "

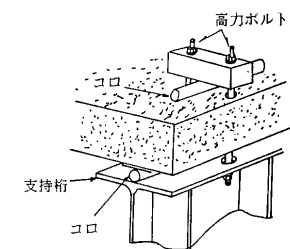


図-3.4 床版隅角部浮き上げ防止装置.

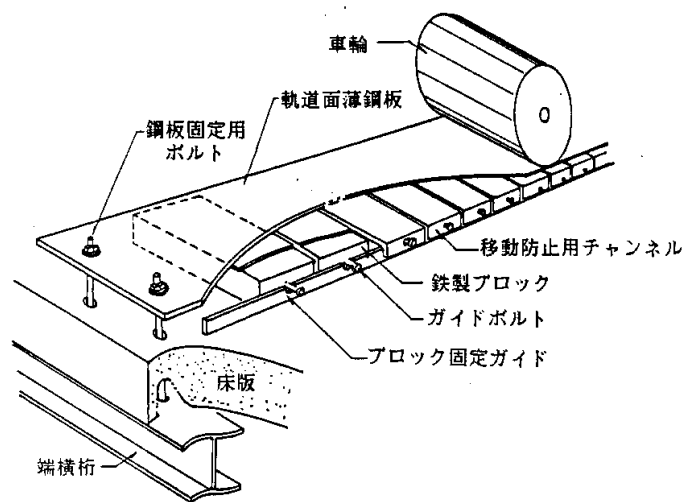
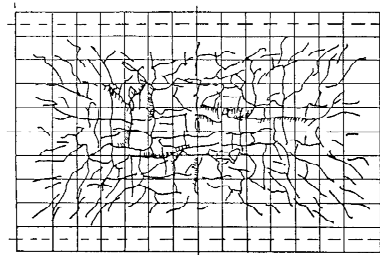


図-3.6 軌道の構造詳細.

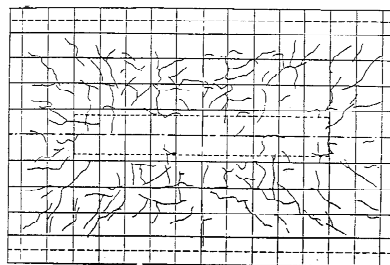
(7) 解明された疲労劣化のプロセス

a) 下面での格子状ひびわれ網の形成

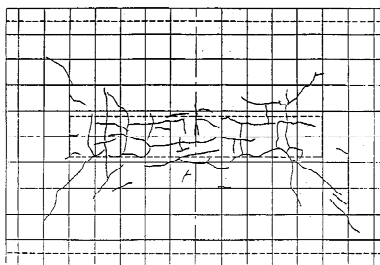




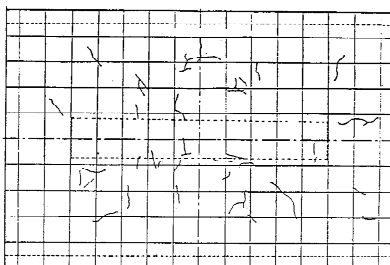
(a) 最終ひびわれ図 (114 万往復)



(c) 1 ~ 30 万往復間に発生したひびわれ



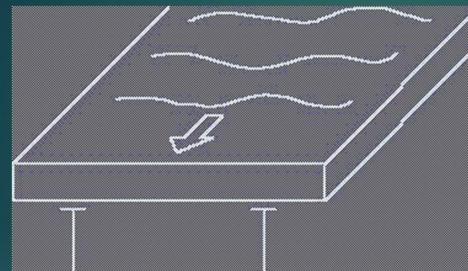
(b) 0 ~ 1 万往復間に発生したひびわれ



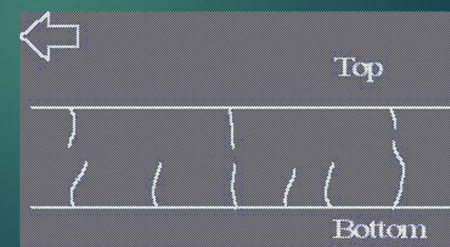
(d) 30 万 ~ 114 万往復間に発生したひびわれ

図-4.2 床版下面のひびわれ状況の例 (DR-1) .

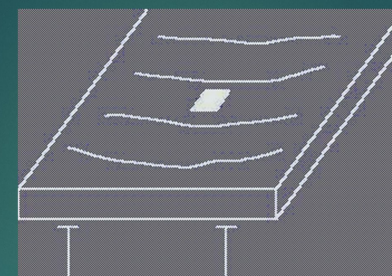
b) 上面でも直角方向ひび割れ



c) 上下のひび割れの貫通



d) ひび割れ面の磨耗によるはり状化



e) 主鉄筋断面の過大負担 によるせん断疲労破壊

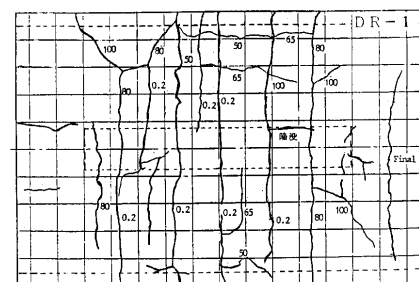
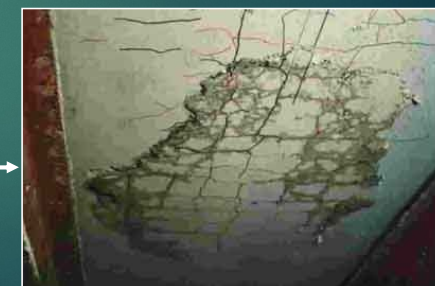
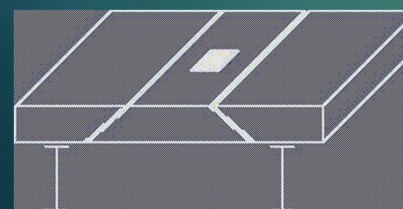


図-4.4 DR-1の上面ひびわれ.

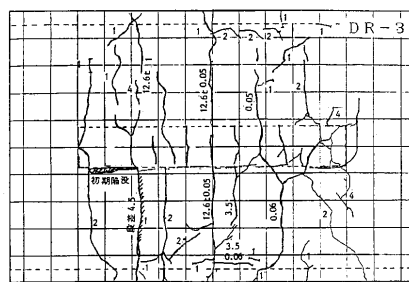


図-4.6 DR-3の上面ひびわれ.

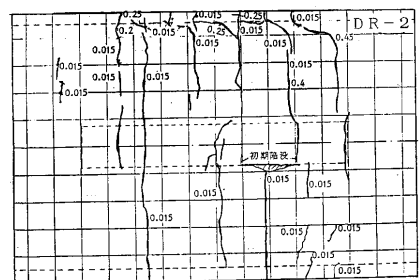


図-4.5 DR-2の上面ひびわれ.

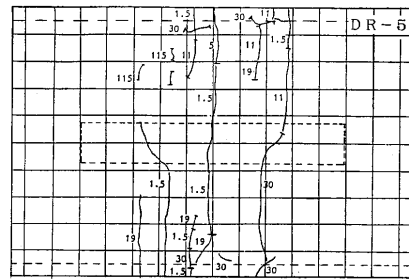


図-4.8 DR-5の上面ひびわれ.

切断面(走行直角)

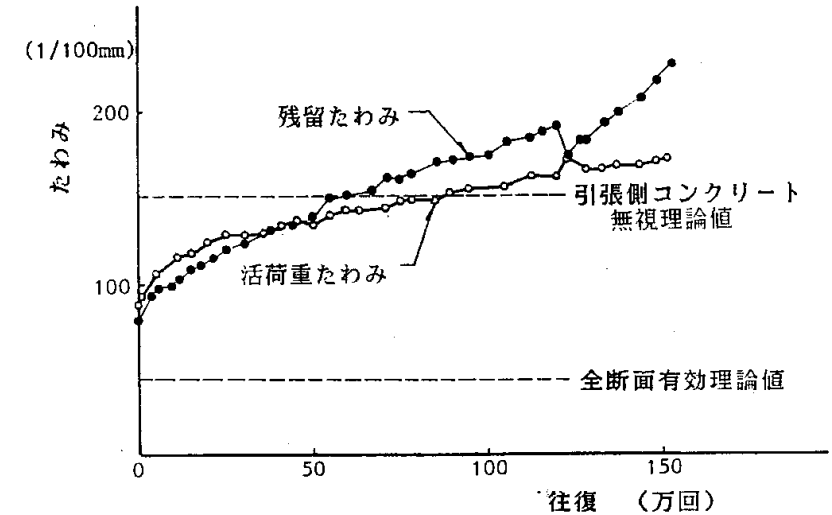


図-55 DR-5 床版中央の活荷重たわみ変化状況.

試体	荷重 (t)	全載荷回数 (万往復)	測定時回数 (万往復)	ひびわれ密度 (mm/m ²)
DR-1	14.2	114	1	3.21
			30	10.78
			114	11.63
DR-2	20	0.5	0.5	11.55
DR-3	12.6	2	2	9.09
	16.	5.37	5.37	11.01
DR-4	12.6	5	0.1	5.09
	16	21.9	5	7.55
			20	10.18
DR-5	14.2	155	1	4.57
			30	7.11
			155	8.44

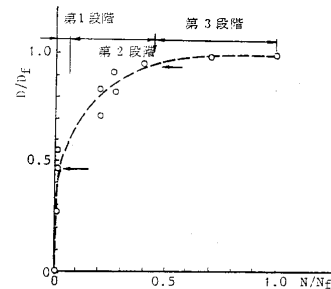


図-43 載荷回数に伴うひびわれ密度変化.

以上のような実験結果の報告だけで研究発表を終わるっものが多い！ もったいない！！
実験結果に一般性。応用性を持たせたい！
成果をS-N曲線で表現して、疲労設計に活用できるようにすべきと考えた。！！

5. 実験結果をS-N図に表示して寿命評価を行いたい。

一般的に鉄筋コンクリート構造の疲労寿命は、鋼構造のように部材の代表における応力では表せない。コンクリートのひびわれによって断面が刻々と変化するため！

これまで、応力の代わりに作用荷重をその部材の破壊耐力で無次元化している。

R C床版に小面積の集中荷重を作用させた場合には、曲げ破壊前に押し抜きせん断破壊するのが一般的であるので、本実験でもこの手法を踏襲することにしたが？

しかし、既往の全ての耐力式は構成パラメータの因子分析によって誘導した経験式であった。

右図は北大の角田先生が自身で実験した60体橋実験結果を、既往の経験式で計算し、

(実験値/計算値)の分布を現したもので、

(a)～(d)の諸外国の研究者のものはバラツキが大きく、推定精度が良く無かった

角田先生は自身で因子分析を行い、新しく耐力式を誘導した。結果は(e)に示したように一致は向上した。

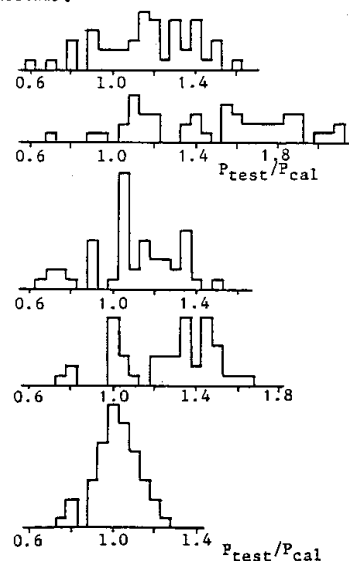
(a) Elster-Hognestad式

(b) Whitney式

(c) Moe 式

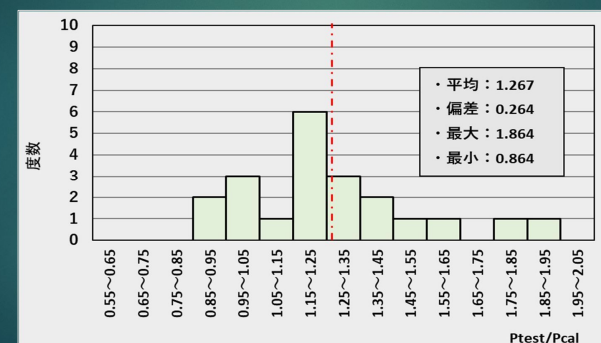
(d) Yitzhaki式

(e) 角田らの式



長方形板を用いた床版の押抜き耐力試験結果に対する耐力式の適用結果

松井が行った道路橋RC床版ではこの耐力式の精度が落ちたので、他の研究者の結果を含めて評価すると、やはり



角田式でも

バラツキが大きい

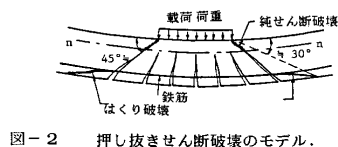
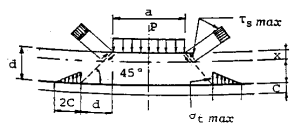
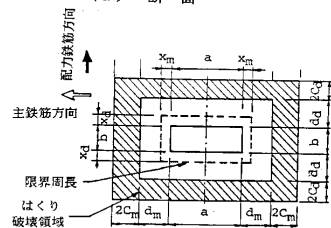


図-2 押し抜きせん断破壊のモデル。



(a) 断面



(b) 平面

影響因子は、床版の破壊部位を切断し、左図の断面状況から

鉄筋の降伏の有無は無視でき、コンクリートの破壊のみ

弾性状態の中立軸以下の引張側コンクリート無視で、圧縮領域のみでせん断破壊し、

斜めひび割れが下側鉄筋に到達したら、下側鉄筋に作用するせん断力(ダウエル力)によってコンクリートが剥離破壊する。

これらの破壊が載荷板の全周で同時に発生している。

と考え、

松井式

$$P = \tau_{s \max} \{ 2(a + 2x_m)xd + 2(b + 2xd)xm \} + \sigma_{t \max} \{ 2(a + 2dm)Cd + 2(b + 2dd + 4Cd)Cm \} \quad (2)$$

ここに、 a, b : 載荷板の主鉄筋方向、配筋鉄筋方向の辺長(cm),

xm, xd : 主鉄筋および配筋鉄筋に直交断面の引張側コンクリートを無視した断面の中立軸距離(cm),

dm, dd : 主鉄筋、配筋鉄筋の有効高さ(cm)

Cm, Cd : 引張側主鉄筋、引張側配筋鉄筋の中心とコンクリート下表面との距離、すなわち、かぶり(cm),

$\tau_{s \max}, \sigma_{t \max}$: コンクリートの最大せん断応力度、最大引張応力度 (kg/cm^2)。

$\tau_{s \max}$ に関しては、求めた試験方法が合理的であると判断できる伊東/33の実験式(3)を採用した。この実験式の適用により載荷板周辺のコンクリート圧縮部における3軸応力状態は厳密に評価しなくてもよいと考えられる。

$$\tau_{s \max} = 0.252 \sigma_{ck} - 0.000246 \sigma_{ck}^2 \quad (\text{kg}/\text{cm}^2) \quad (3)$$

$\sigma_{t \max}$ に関しては岡村/34の実験式(4)が有効である。

$$\sigma_{t \max} = 0.583 (\sigma_{ck})^{2/3} \quad (\text{kg}/\text{cm}^2) \quad (4)$$

E_c については既往の実験結果の平均値を与える次式を採用した。

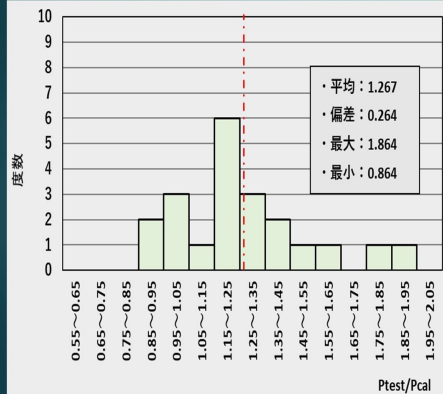
$$E_c = 210,000 + 900 (\sigma_{ck} - 300) \quad (\text{kg}/\text{cm}^2) \quad (5)$$

ただし、鉄筋のヤング係数は $2.1 \times 10^6 \text{ kg}/\text{cm}^2$ とする。

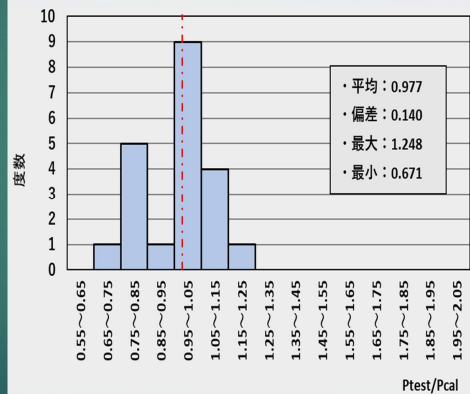
松井の提案した押し抜きせん断強度式

長方形板を用いた床版の押抜き耐荷力試験結果 に対する耐荷力式の適用結果

角田式

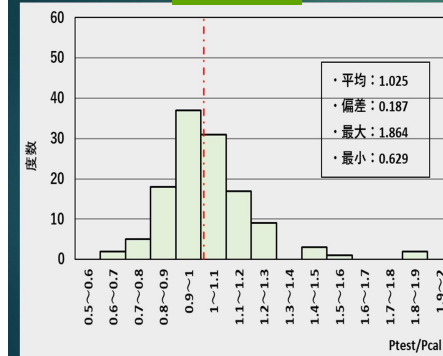


松井式

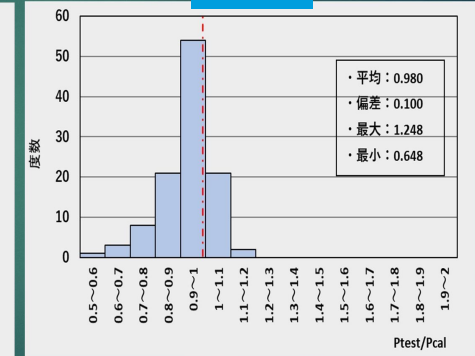


角田先生の押抜実験に対する 松井のせん断耐荷力算定式の適用性もOK!

角田式

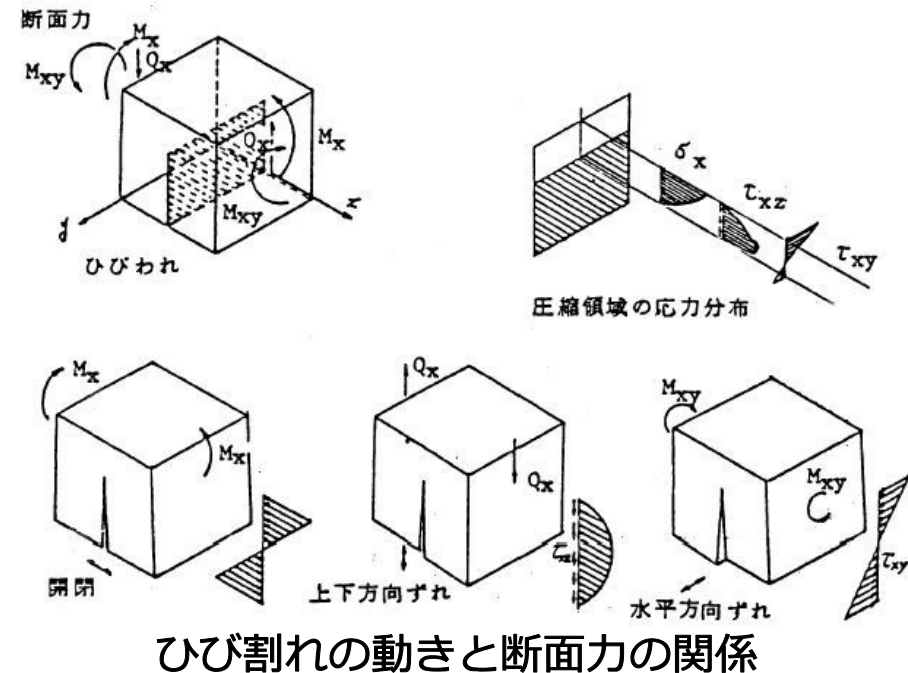
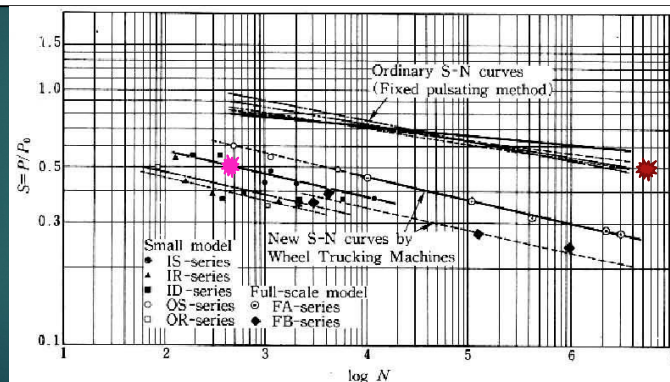


松井式



松井式を使ってS-N図にプロット！
(疲労強度曲線- I)

定点疲労の場合より 1 万倍速く破壊！
橋軸直角方向に作用するせん断力とねじりモーメントが交番し、ひびわれ面の劣化が早くなるため！



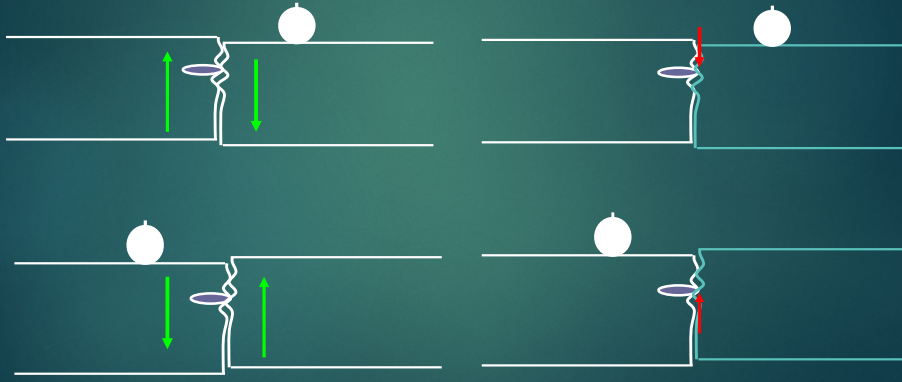
速く壊れる理由

貫通ひび割れの動き



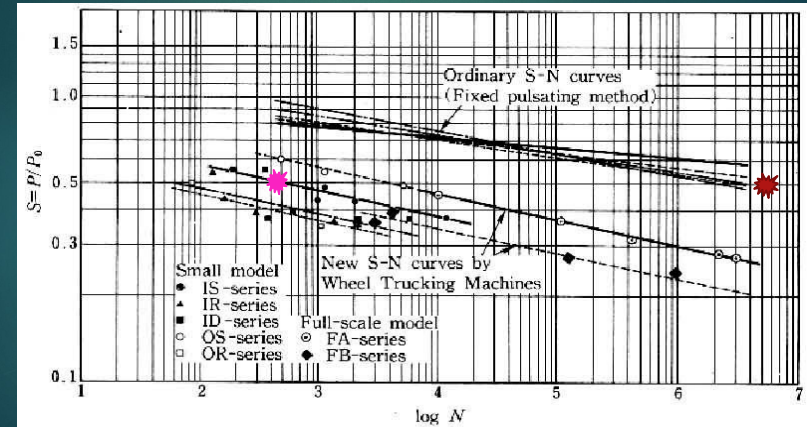
輪荷重の移動によりせん断力が交番する

骨材の動きが交番！

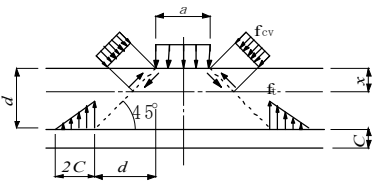


6. 疲労強度曲線- I では設計法が変わると
S-N線が変わる。その度に疲労実験が必要！

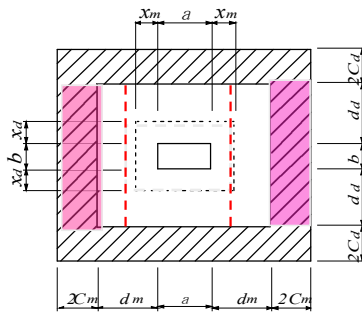
統一化が出来ないか？



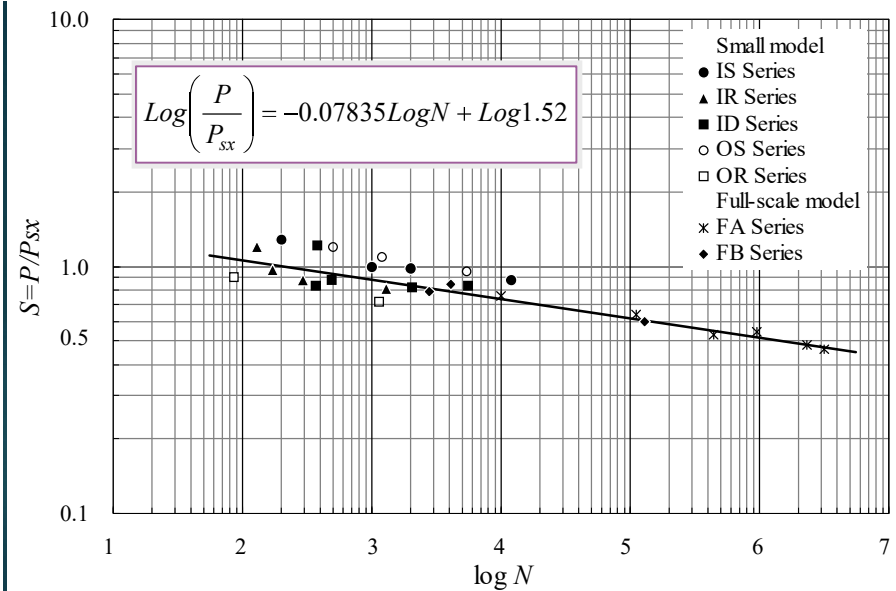
(11)押し抜きせん断
破壊状況の見直し



破壊は主筋断面
だけで起っている!?



$$P_0 = f_v \{ 2(a + 2x_m)x_d + 2(b + 2x_d)x_m \} + f_t \{ 2(a + 2d_m)C_d + 2(b + 2d_d + 4C_d)C_m \}$$

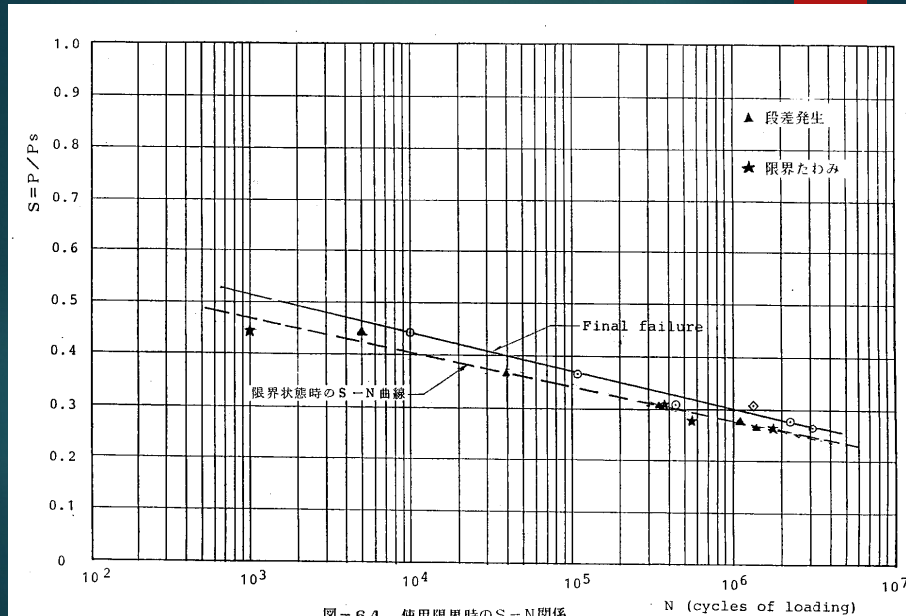


統一化したS-N曲線

7. 松井が水の影響を最初に評価できた現象の発見



床版表面は骨材化！



実験室での再現性？



骨材化を再現！



載荷すぐに漏水、
コンクリート粉含み！



深さは中立軸付近まで



道路橋RC床版のひびわれ損傷と耐久性

RC床版のひび割れ・陥没損傷は走行する輪荷重による疲労損傷！
1983年開発の輪荷重走行試験で！

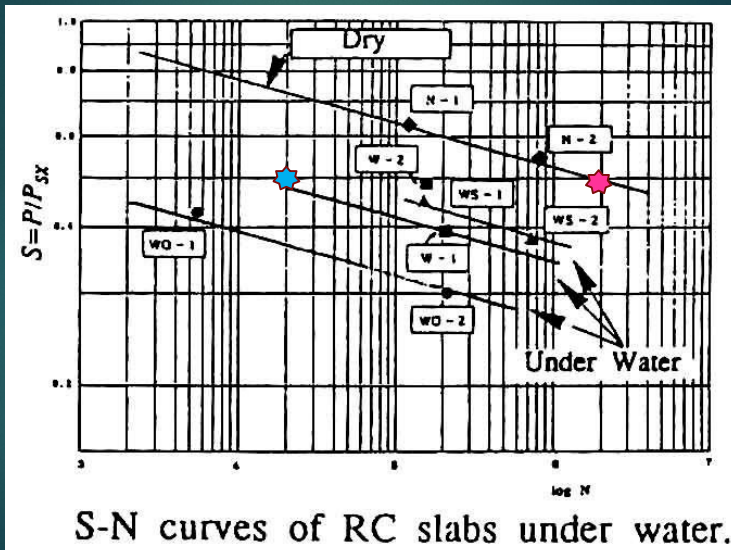
オリジナル論文

松井繁之：移動荷重を受ける道路橋RC床版の疲労強度と水の、コンクリート工学年次論影響文報告集、pp.627-632、1989

1991

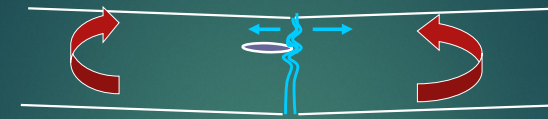
阪神高速道路公団
阪神高速道路管理技術センター

(13) 水によって寿命の大幅低下！！
 $1/80 \sim 1/100$ に！

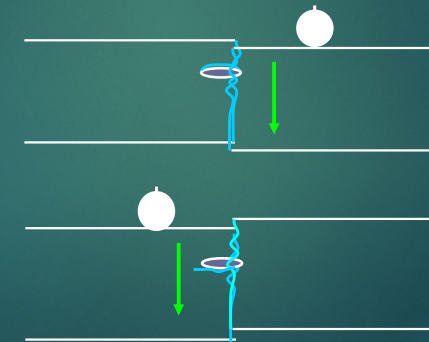


貫通ひび割れへの水の浸入

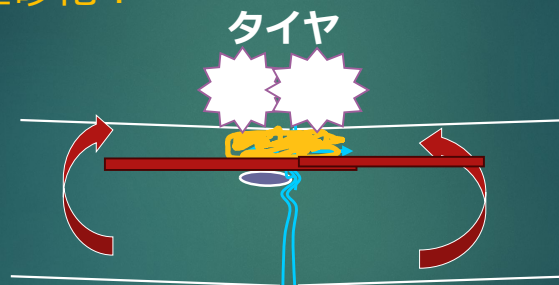
曲げモーメントによる水圧発生



輪荷重の移動によるせん断力によるすり磨きの加速効果！



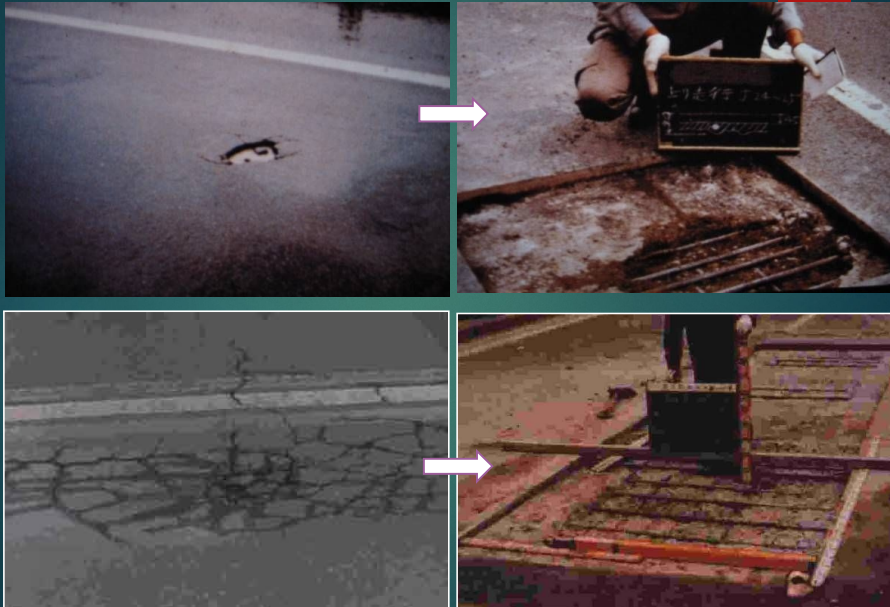
鉄筋腐食を伴って剥離した上側
 かぶりが破碎され、水によって
 土砂化！



疲労が無い環境でも、
 浸入・貯留した水が凍結融解を繰り返し、
 コンクリートが砂利化！



鉄筋の腐食（かぶりの浮き、破壊）→塩害



8. 橋梁床版の長期耐久化！

高速道路では9000kmのうち、供用30年の経過した橋梁が約4割を超え、経年劣化のリスクが高まっていると懸念！

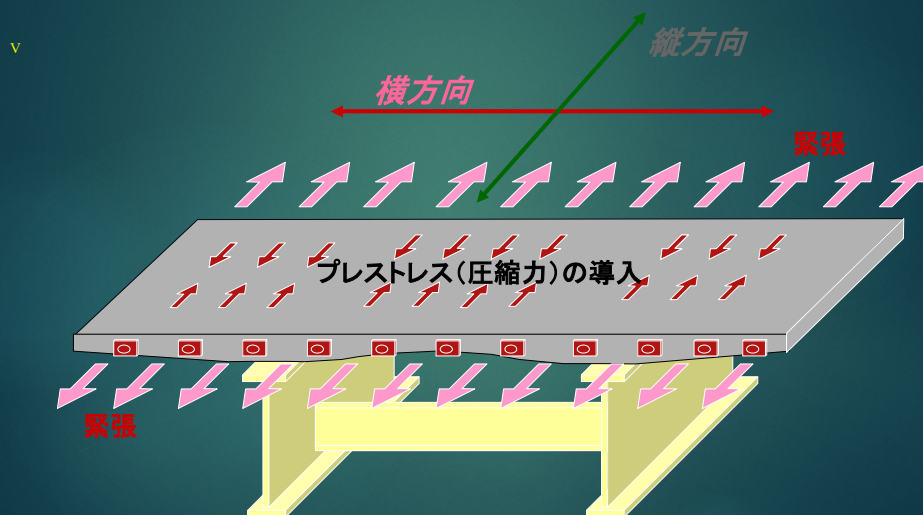
▶ H24年11月「高速道路資産の長期ほぜん及び更新のあり方」の技術検討委委員化設立

▶ H24年12月に笹子トンネルの天井板落下事故！

H26年1月 長期保全等検討委員会「提言」

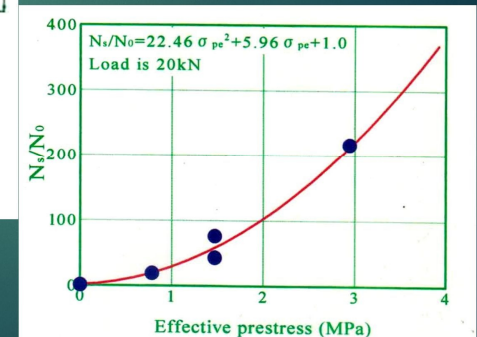
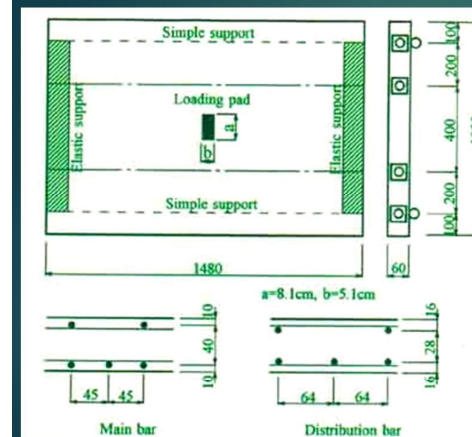
平成27年1月 NEXCO 3 社による高速道路の更新計画発表！

新設では橋軸方向のプレストレスの活用！



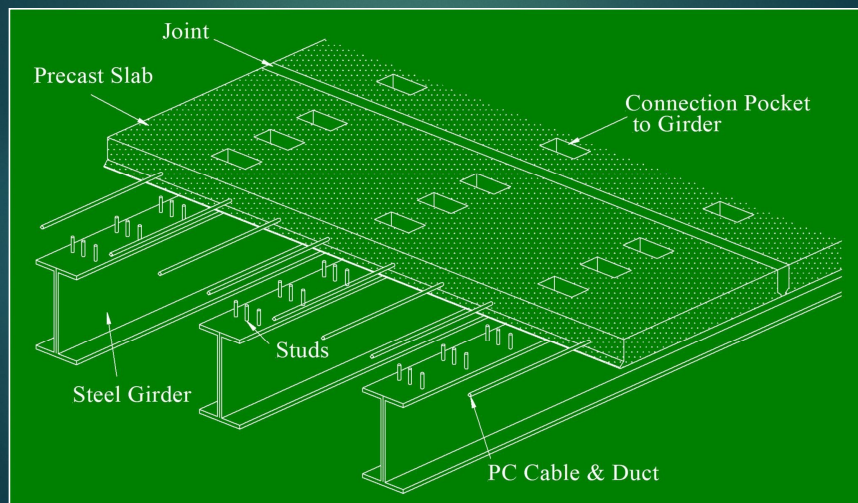
プレストレスの効果？ 縮小版で評価！

実大床版では破壊できない！



Pre-stressing !

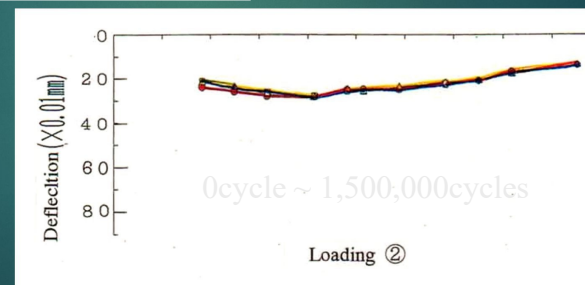
・PRE-STRESSING IN LONGITUDINAL DIRECTION BY INNER CABLES



ゴングロによる耐久性評価

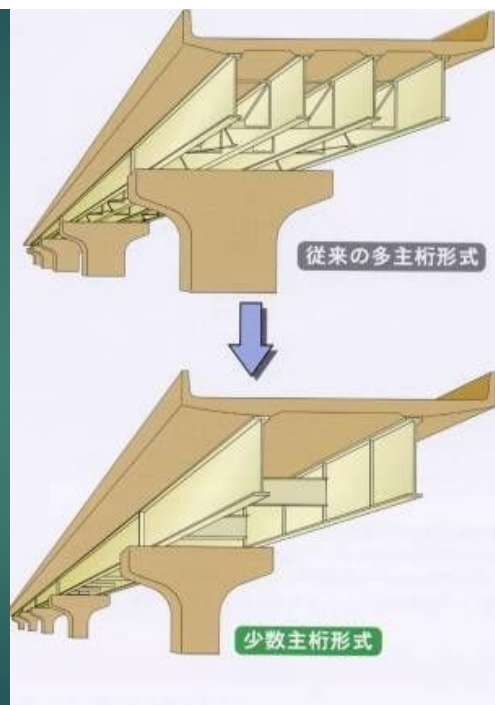


全く変化なし！



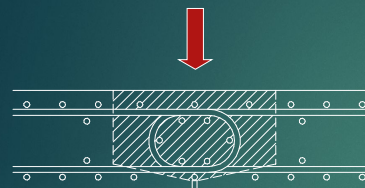
9. NEXCOは 新技術を開発

(1) 少数主桁橋
に適した床版
は？



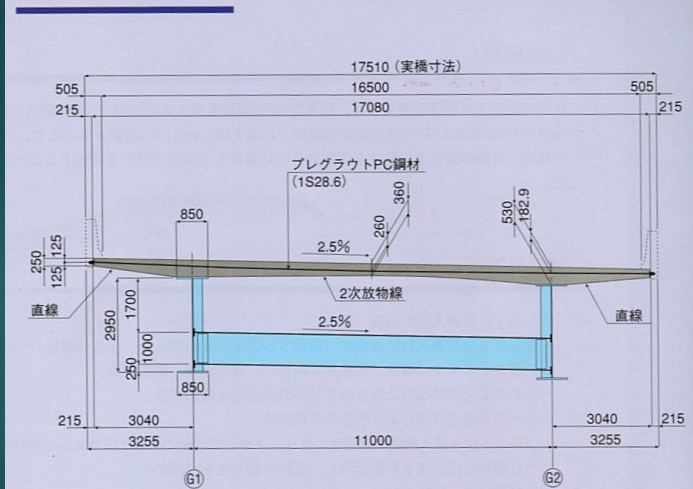
横締めPCaPC版をループ鉄筋継手で連結 1

ループ内にも主鉄筋を入れる

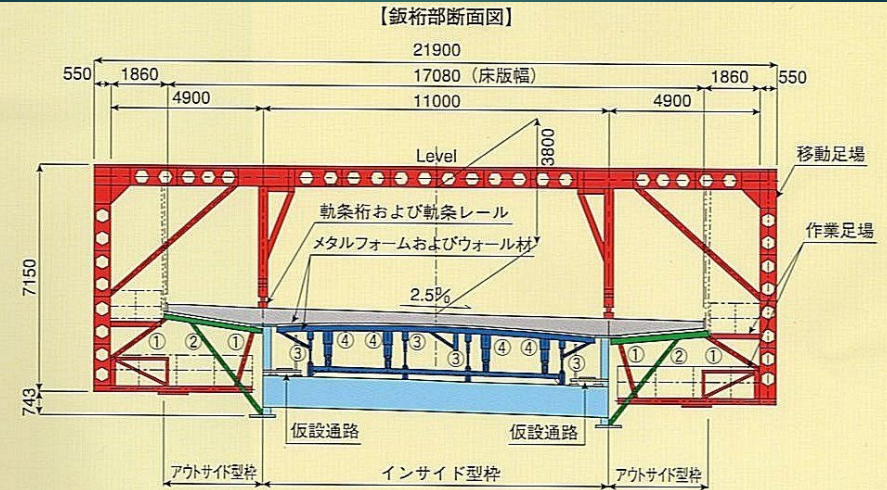


10. 大支間橋をワーゲン施工ー 横締PC版で！

試験体の断面図／鋸桁



移動型枠のワーゲン施工



11. 高速道路では、疲労以外に塩害や凍害による複合劣化が進展していることが判明！

砂利化が車輪の通化位置で連続！

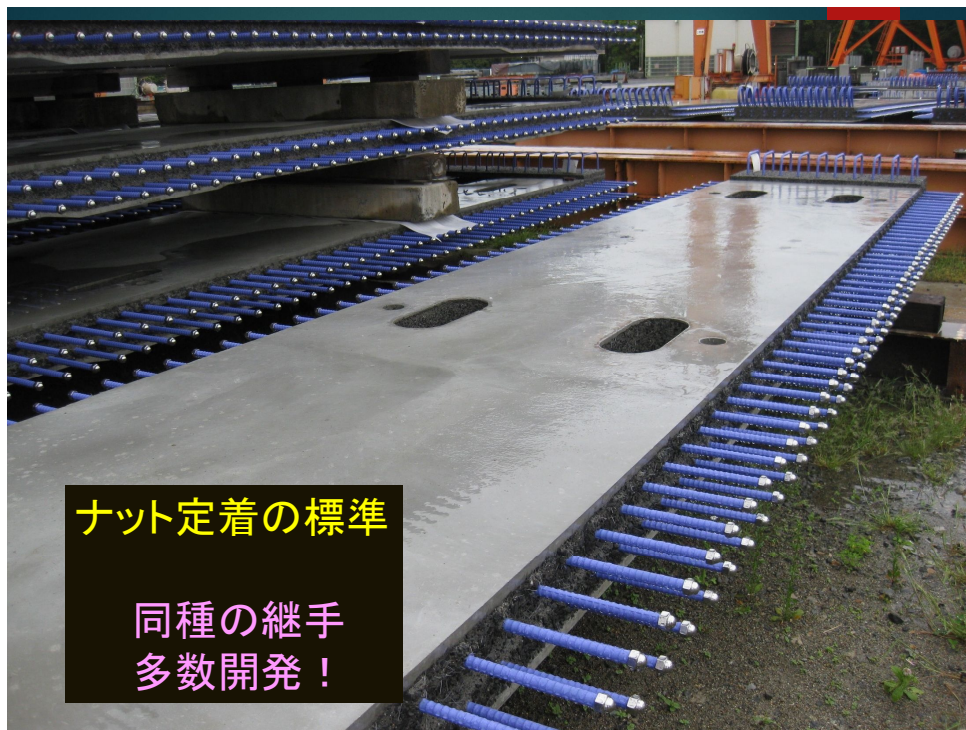
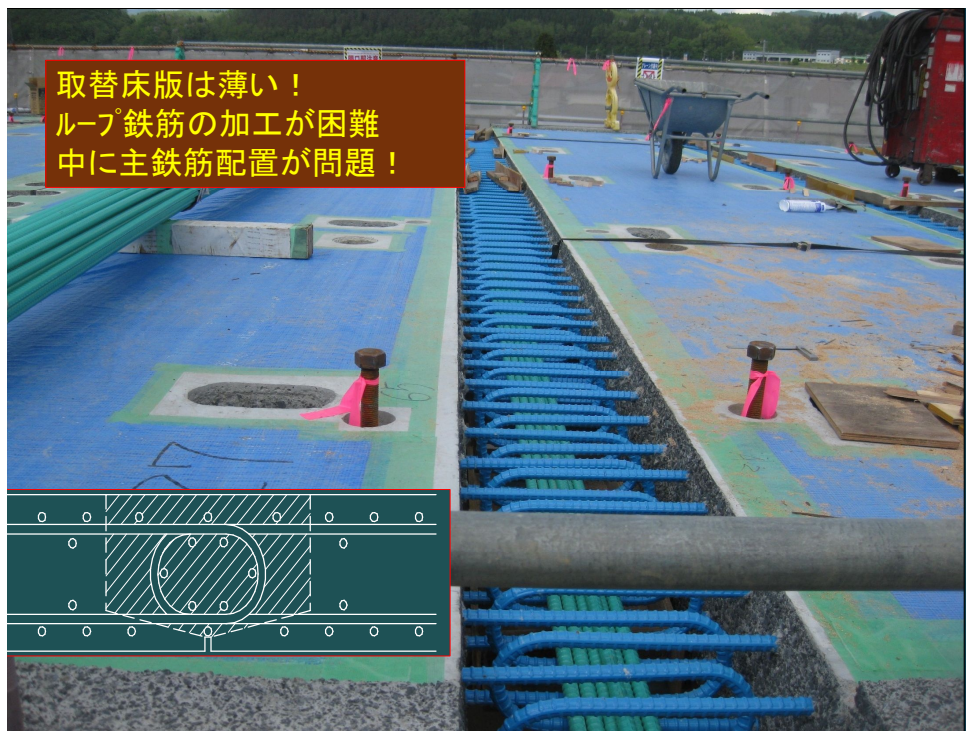


今後、PCaPC床版の縦継手の開発が必要！

橋軸直角方向にもプレストレスが必要か？

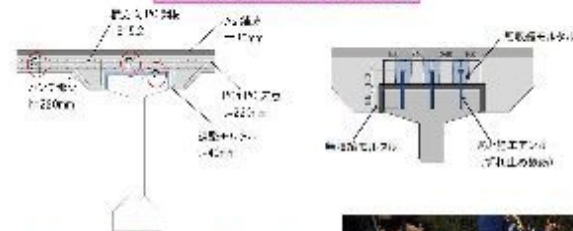
現在の横継手はNEXCOのループ継手が基本としている。すなわち、配力鉄筋が表面側に配置されている中で、主鉄筋に直角の断面では鋼材の断面曲げ剛性は小さい。現在のRC床版では主鉄筋は表面側にあるので断面合成は大きくなる！

Dy/Dxは1.0近くになり、等方性版になっている！



改良② PC桁上の床版取替も

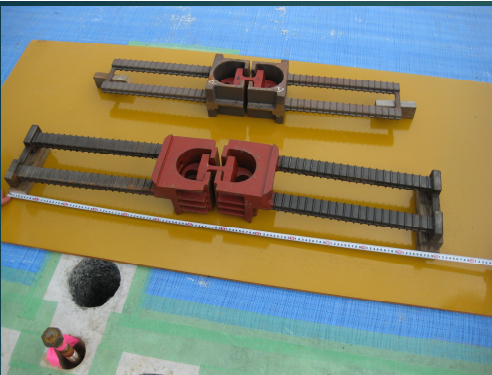
キャップスラブ概要図



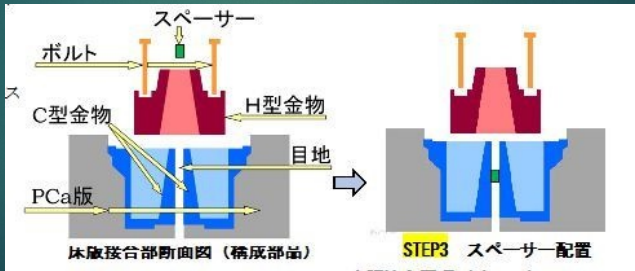
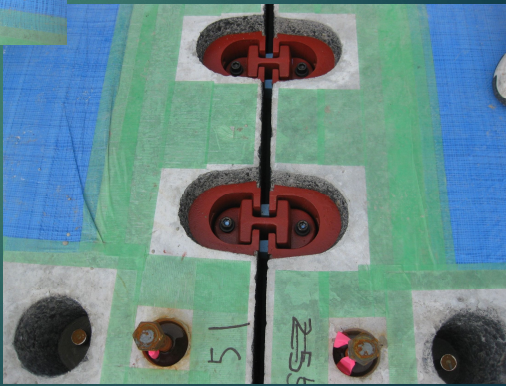
実際に施工されたキャップスラブの断面図

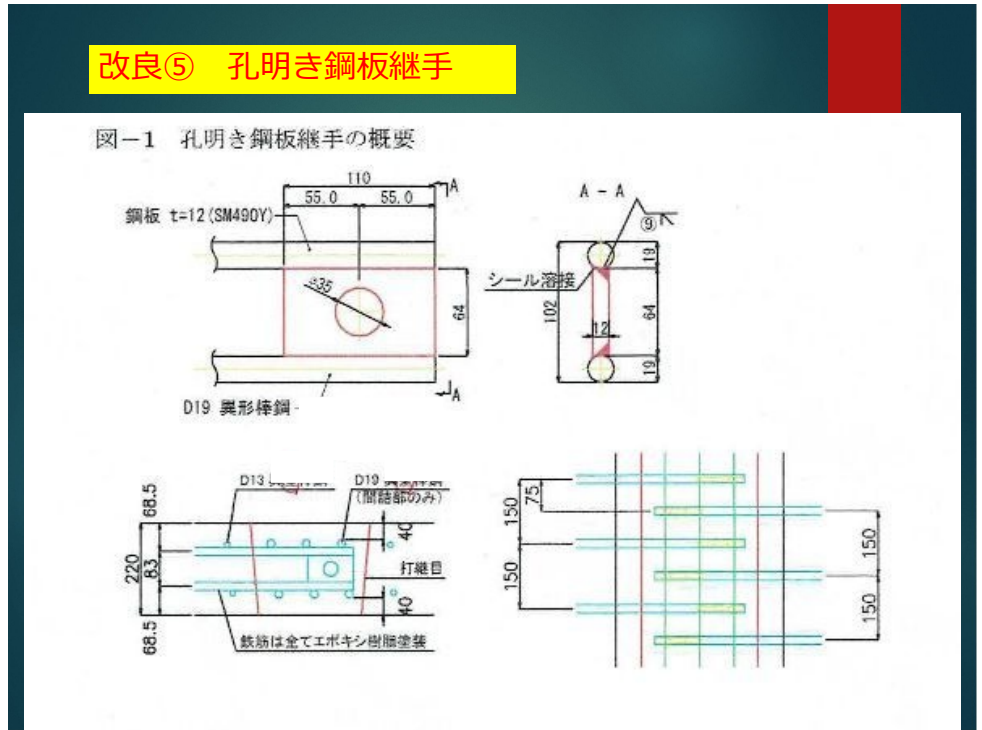
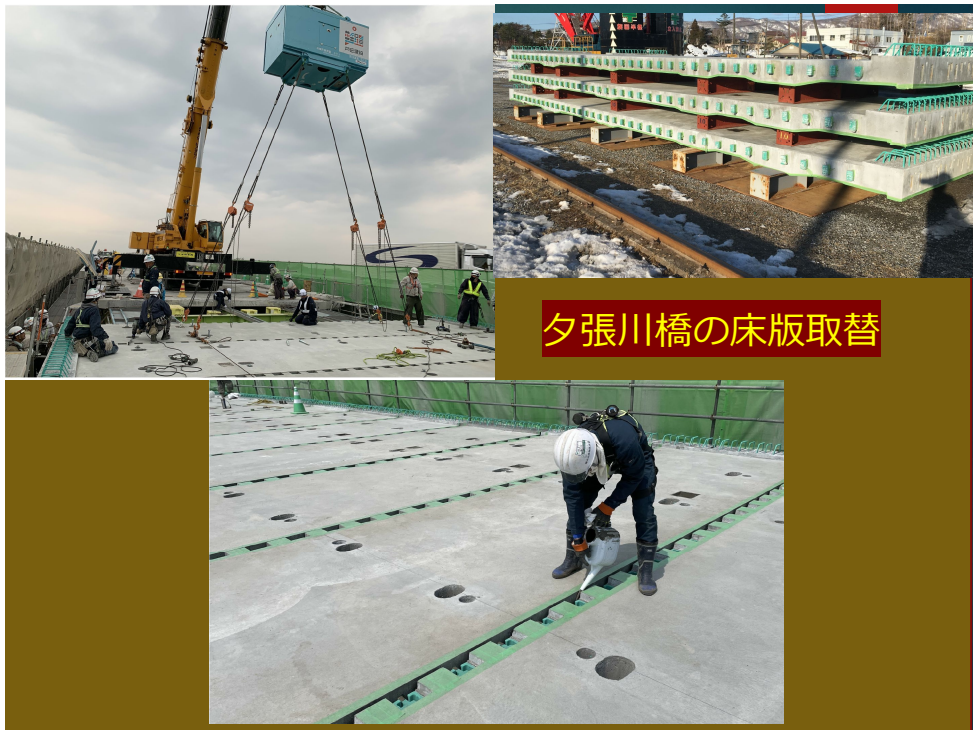
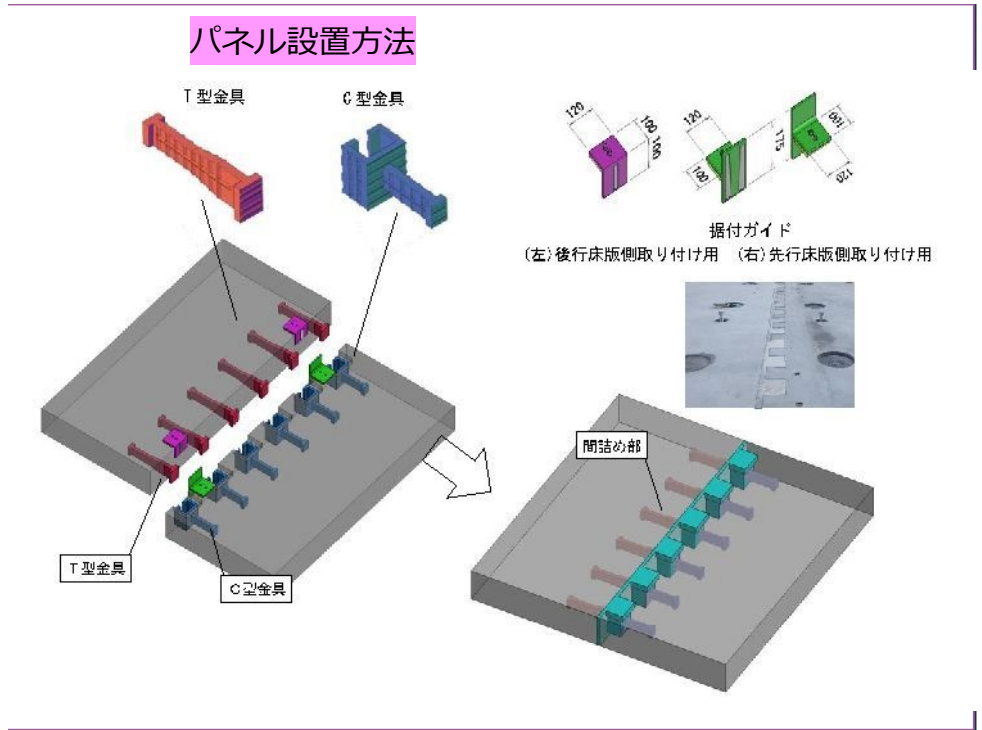
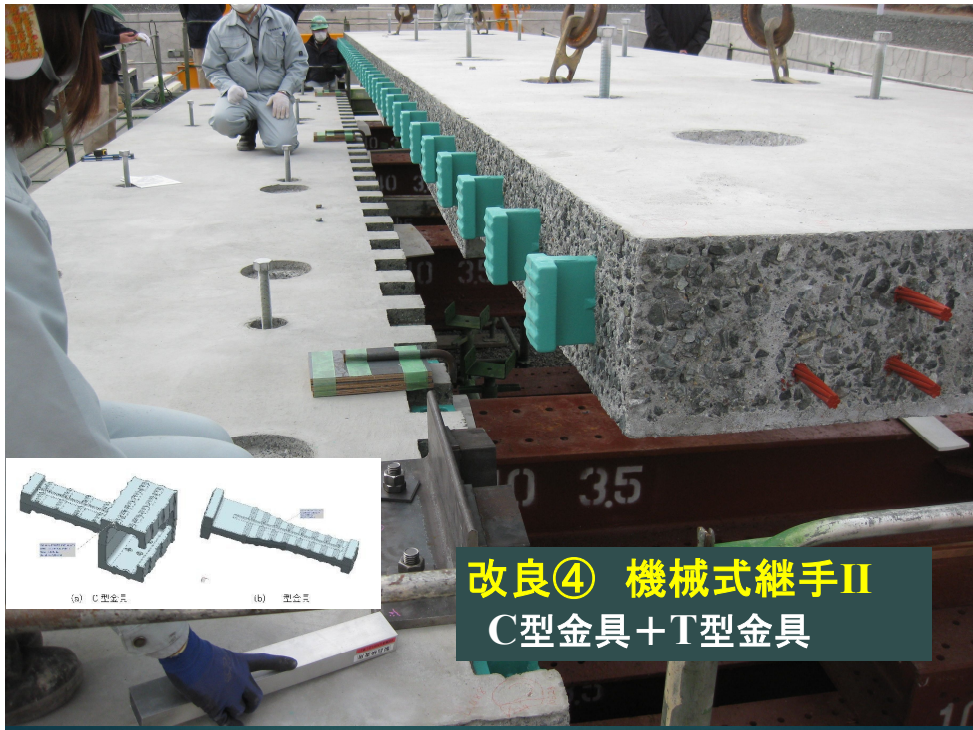


改良③ 機械式継手 I (コッター継手)



C型金具+H型金具
で結合





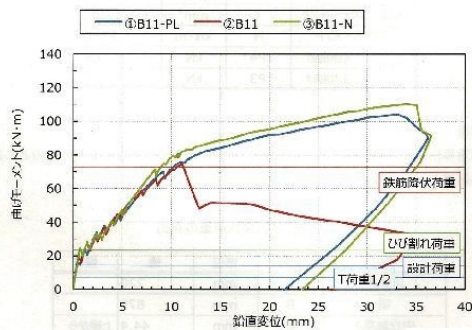


図 4.9 曲げモーメント-変位関係 (4点曲げ載荷)

はり試験結果
4点曲げ

穴明鋼板が付くと継手無しのRCはり
と同等以上の耐力が得られる！

3点曲げ

鋼板が無いと降伏前後で抜け
が生じ、耐力が低下する！

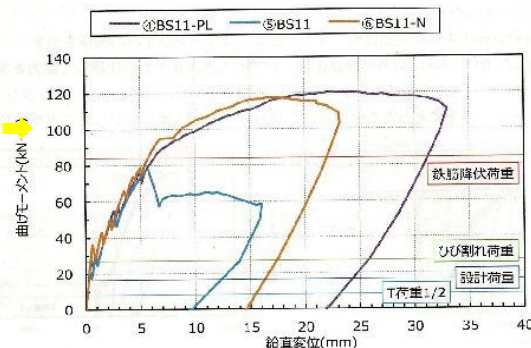
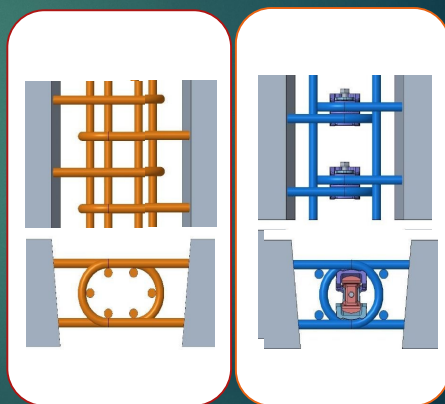
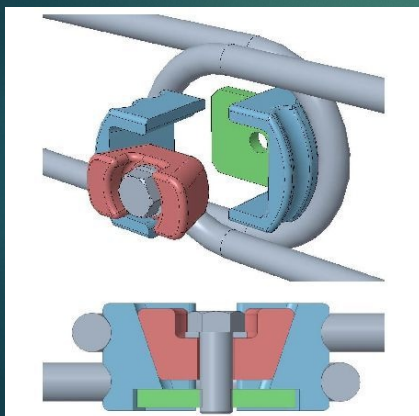


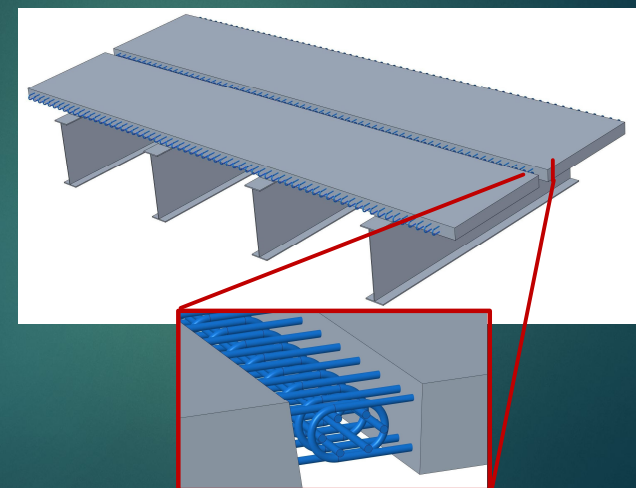
図 4.10 曲げモーメント-変位関係 (3点、曲げ載荷)

主鉄筋を外側に移したループでは
縦継手が可能となり、鋳物継手使える！

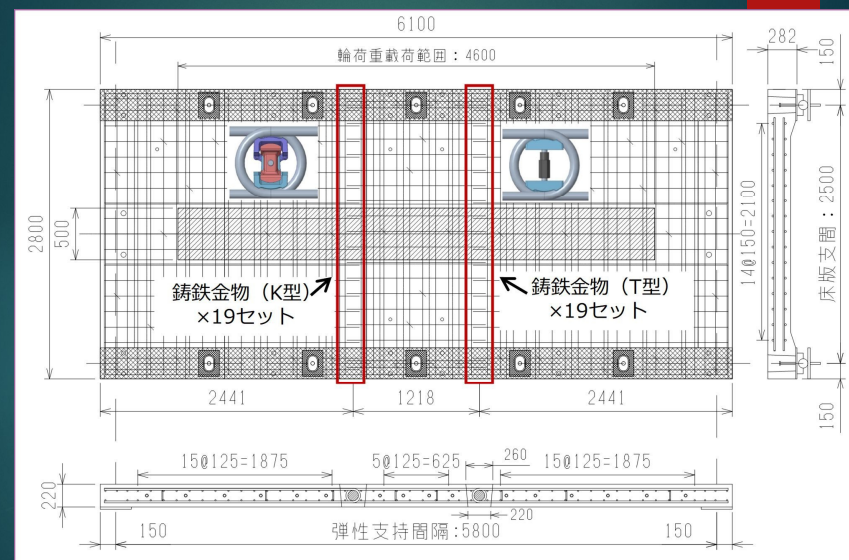
本床版はRC床版として設計する！

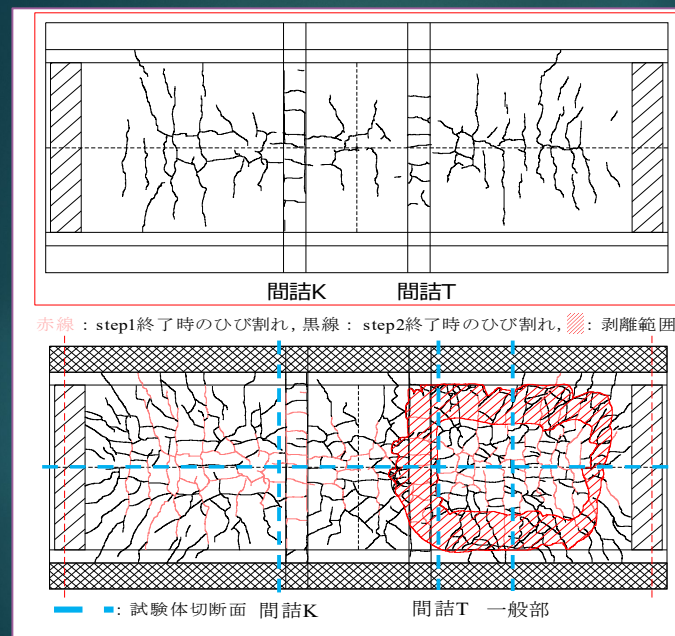
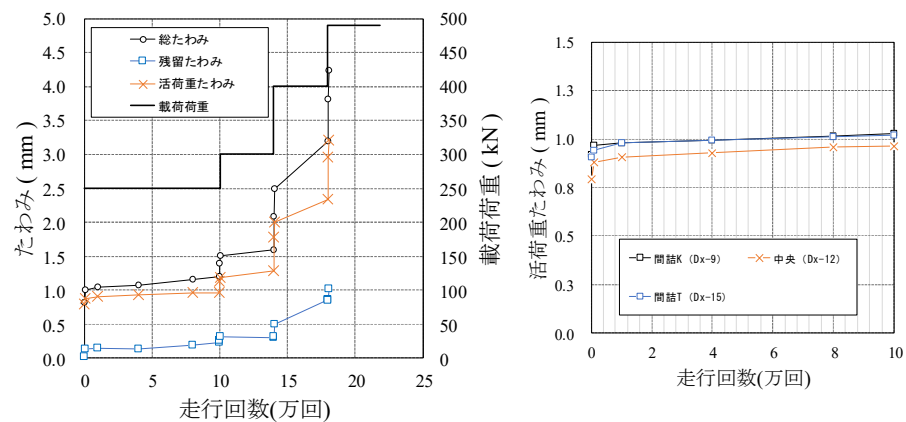


⑥ 鋳鉄金物を用いたRCループ継手を有する
プレキャストPC床版の疲労耐久性



白井 悠
久保 圭
鍵村 俊
妹川 哉
藤原 寿
松井 秀
松井 俊
松井 之



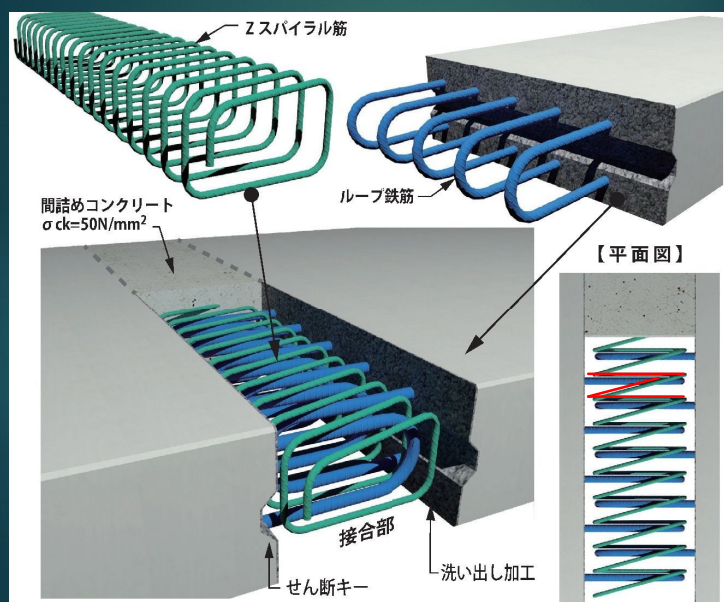


250kN載荷終了時

490kN載荷中
押し抜き破壊

改良⑦ Zスパイラル工法の概要 構造イメージ図

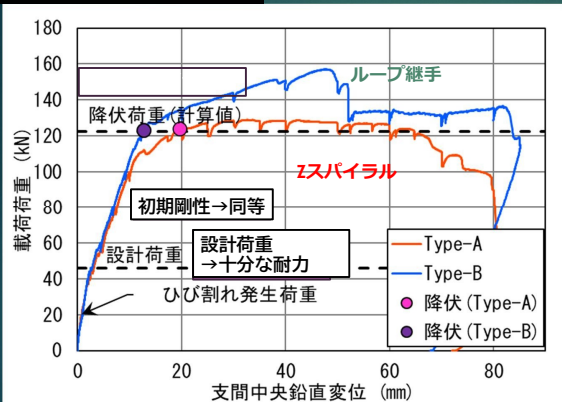
15/5
1



ループ筋内側のコンクリートコアの変形を拘束し、ループ筋の抜けを防止する

試験体	Type-A 矩形スパイラルによる接合法	Type-B 標準工法(ループ継手)
概要図		
継手幅	280mm	上縁400mm 下縁380mm
継手部の機能	(橋軸方向) M, S (橋軸直角方向) ほぼ耐荷力なし	(橋軸方向) M, S (橋軸直角方向) M, S
継手部配筋方向	矩形スパイラル筋 D10mm@150mm	なし
継手部主筋方向	なし	D19mm×6本
間詰材	早強コンクリート(膨張材添加) 圧縮強度 50N/mm ²	

荷重－変位の関係



Type-Aは最大荷重は低いが、Type-Bと同等の変形性能を有する

Type-A 矩形スパイラルによる接合工法

取入何重まで何重が増加後、耐力を維持し変位60mmまで変形

↓ 耐力を維持したまま変形
上面コンクリートの圧壊
支間中央変位80mm程度まで
耐力力を保持

Type-B 標準工法(ループ継手)

最大荷重まで増加後、
変位50mmで上面コンクリートの圧壊が
進行し、耐力力が低下

↓ 耐力を維持したまま変形
上面コンクリートの圧壊
支間中央変位80mm程度まで
耐力力を保持

輪荷重走行試験 (NEXCO試験法442)

計測 NEXCO試験法442に準拠。

たわみ

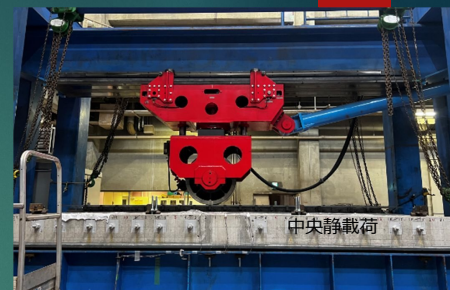
走行開始時、0.1 万回、1 万回、4 万回、8 万回、
10 万回で試験体
中央に250kN を静的載荷し、床版の中央たわみを変
位計で計測

付着切れ幅 (境界面の目開き幅)

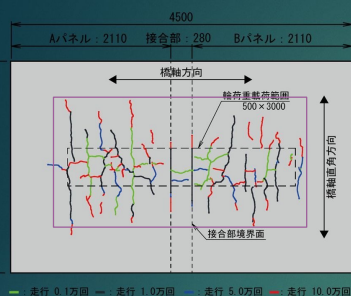
走行開始時、0.1 万回、1 万回、4 万回、8 万回、10
万回で試験体
中央に250kN を静的載荷し、付着切れ幅をゲージ
で計測

ひび割れ

0.1 万回、1 万回、5 万回、10 万回で走行時の試
験体ひび割れの
目視確認



輪荷重走行試験 (NEXCO試験法442)



0.1 万回までに軸直角方向に伸びるひび割れが
複数本発生

1 万回にかけて橋軸直角方向のみひび割れ
本数が増加し、接合部境界面に沿ったひび割
れも発生した。

8 万回～10 万回にひび割れがさらに進展・
増加するとともに、橋軸方向にもび割れが複数
発生した。

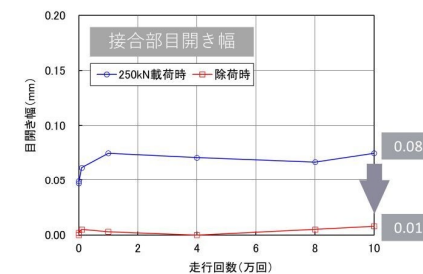
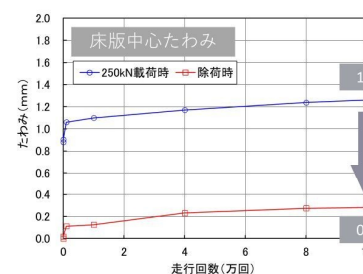
上面、側面共にひび割れは無かった。

ひび割れ

10 万回で最大ひび割れ幅は： パネル部 0.1mm、
接合部0.08mm 除荷後0.06mm、0.04mmに減少
パネル部と接合部のひび割れに大きな差異は無かった。

本工法による接合部はパネル部と同等以上の疲労耐久性を有
し、水張試験も漏水が無かったのでNEXCO442に合格した。

輪荷重走行試験 (NEXCO試験法442)



たわみ

10万回時最大1.3mm 除荷後0.3mm

目開き 幅

10万回時最大0.08mm 除荷後0.01mm

輪荷重走行試験 (NEXCO試験法442)

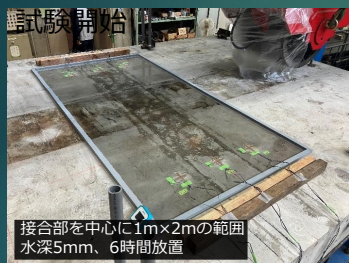


写真6 漏水試験状況

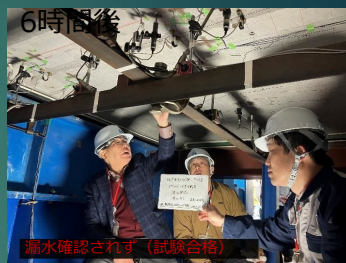


写真7 漏水確認状況

漏水試験

漏水は確認されなかった

漏水試験合格

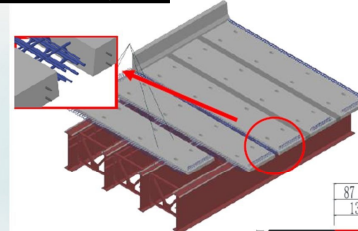
改良⑧ 樹脂による充填継手

○継手内への鉄筋組立、間詰コンクリートの打ち込み・養生等が必要

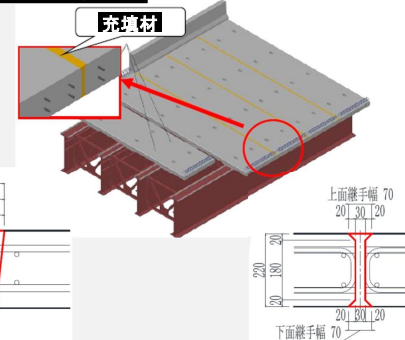
鉄筋を使わず、適度な強度と剛性を持つ充填材料のみで、プレキャスト床版間を接合。 充填材: プレキャスト床版本-1.50程度の静弾性係数で、引張強度や付着強度が床版

本体と同程度のもの(ポリマーセメントや、エポキシ樹脂モルタルなど)

ループ継手による接合方法



ELSS Jointによる接合方法

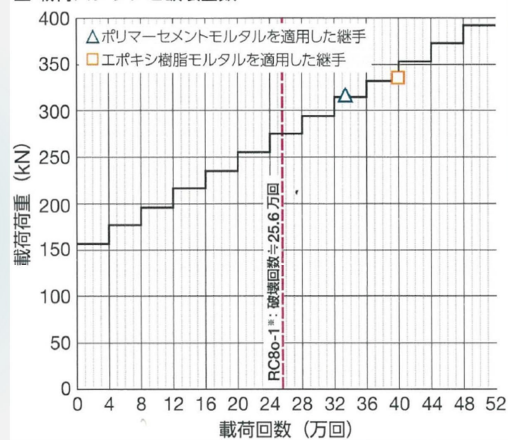


- 1) 北橋一郎、櫻井隆彰、前川聖一、松井繁之、床版取替に向けた半連続プレキャスト床版構造の検討、コンクリート工学会論文集、Vol. 38, No. 3, pp. 375-380, 2018
- 2) 櫻井隆彰、前川聖一、松井繁之、プレキャストPC床版用半剛接合継手、構造と基礎、pp. 37-41, 2018
- 3) 北橋一郎、櫻井隆彰、前川聖一、半連続プレキャストPC床版の橋荷重走行試験における解析による検証、第10回道路橋構造体シミュレーション論文報告集、pp. 71-76, 2018
- 4) 北橋一郎、櫻井隆彰、前川聖一、半剛接合構造を有する床版における鉄筋けを作用させた橋荷重走行試験と解析による疲労耐久性の検証、土木学会論文集、Vol. 401, pp. 124-130, 2019

ループ継手

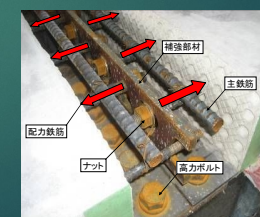
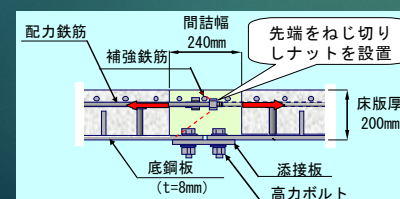
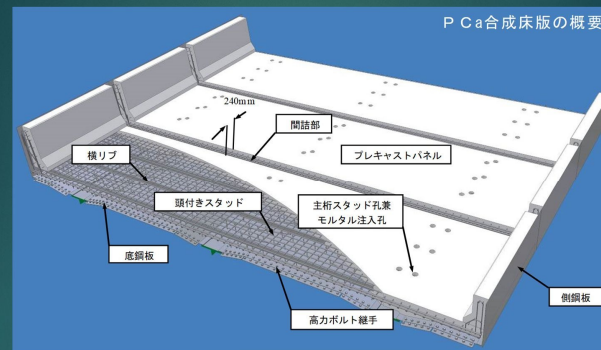
エルスジョイント

■ 載荷ステップと破壊回数



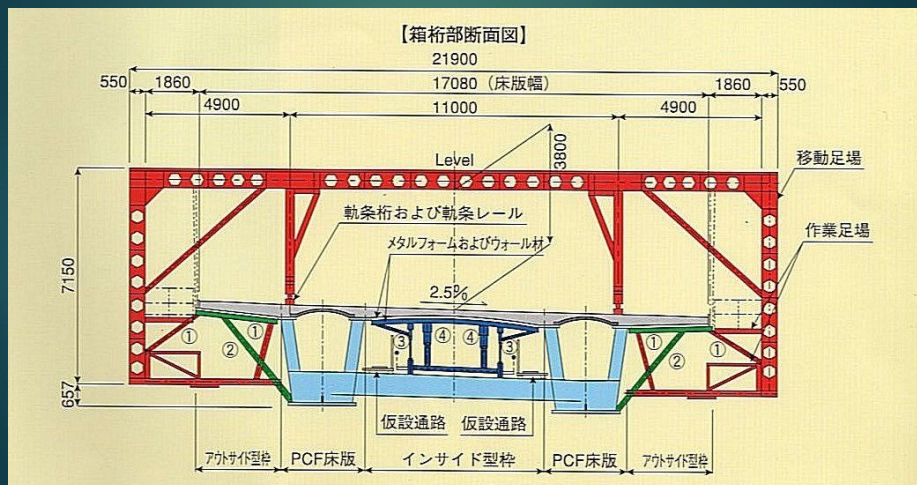
12. 合成床版での合理化継手の概要

P Ca合成床版の概要

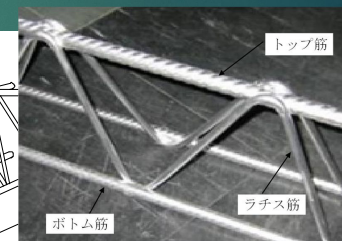
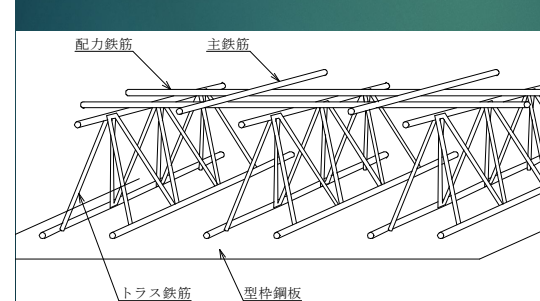
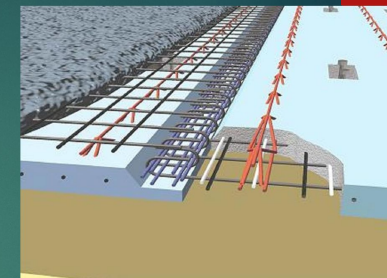
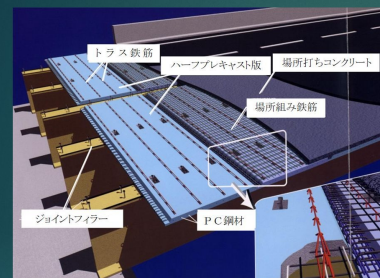


13. 特殊形式のプレキャスト版

ハーフプレキャスト版を埋め殺し型枠に利用



トラス鉄筋を用いたハーフプレキャストPC合成床版



ハーフプレキャスト床版



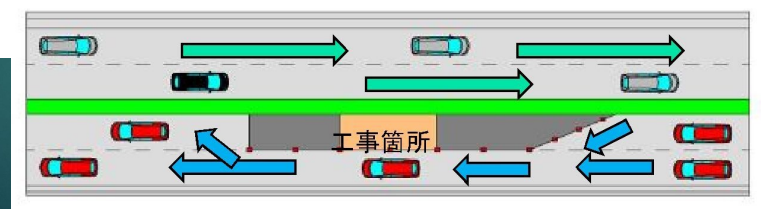
首都高速川崎縦貫道のHPPC



19. 縦目地継手床版の輪荷重走行試験方法の一試案

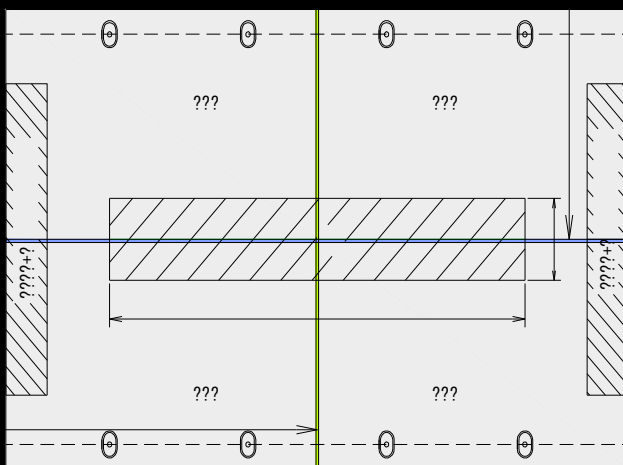
総括（松井繁之）

コッター床版（熊谷組）、C&T継手（戸田建設）、
直接ループ継手（HG工法研究会）、
走行疲労試験機（ショーボンド建設）



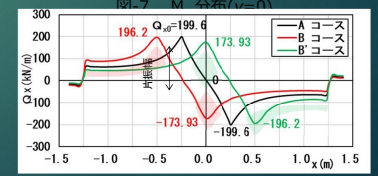
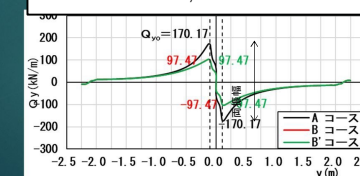
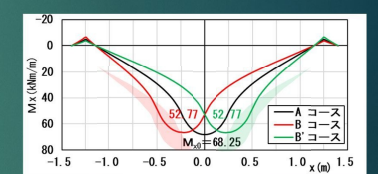
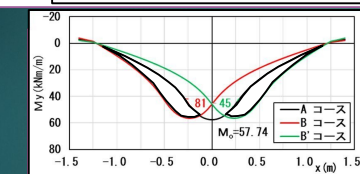
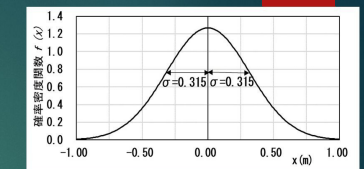
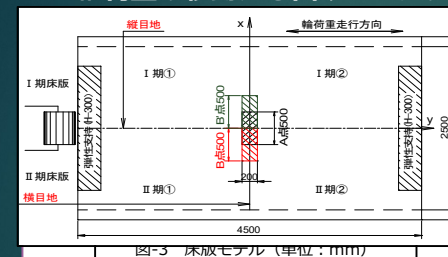
従来の横目地の実験でh_z

?!?



?!?

輪荷重の移動に曲げモーメントとせん断力の変化状況



●Bコース

●Aコース

●B'コース

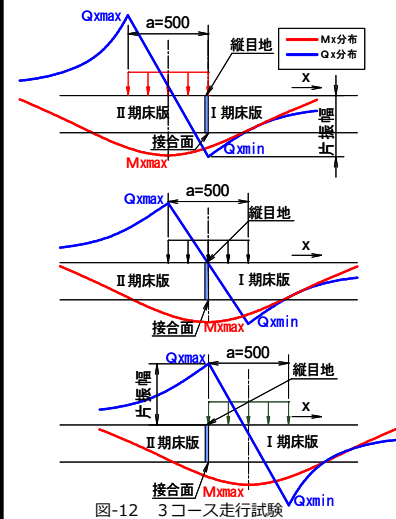
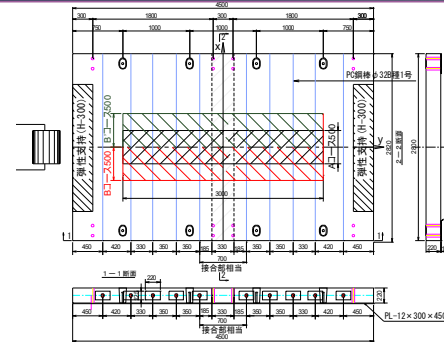


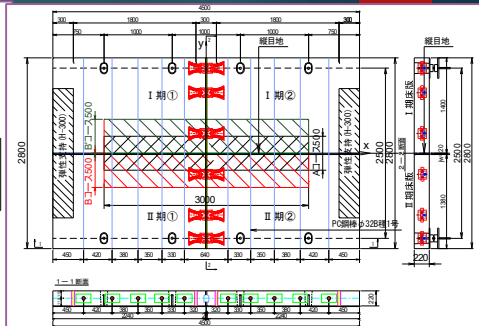
図-12 3コース走行試験

- ・曲げモーメント：
荷重位置中央で最大
値を示す
- ・せん断力：
荷重位置端部で最
大・最小値を示す
- ・よってAコースで
最大曲げモーメント
位置でB.B'コースの
中心を当てる

●基準PC床版



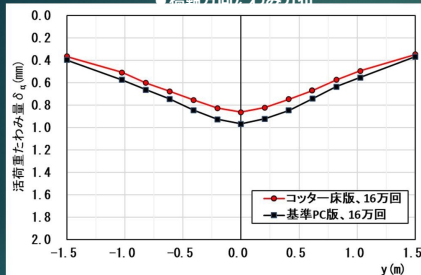
●コッター床版工法



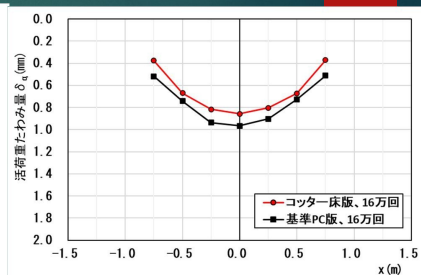
【活荷重たわみ分布の比較】

■STEP 4

●橋軸方向たわみ分布

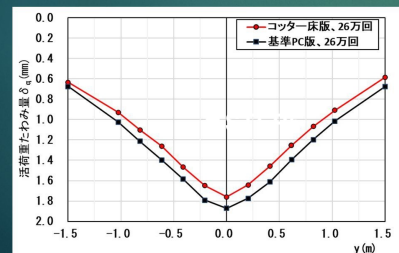


●橋軸直角方向たわみ分布

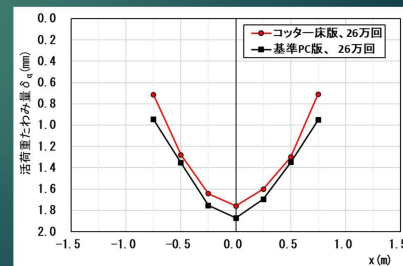


■STEP 5

●橋軸方向たわみ分布



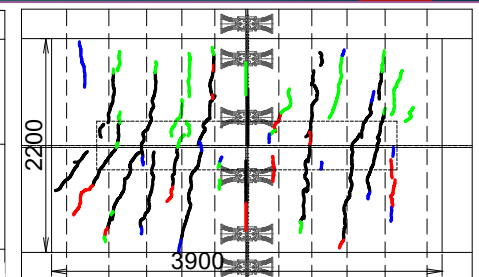
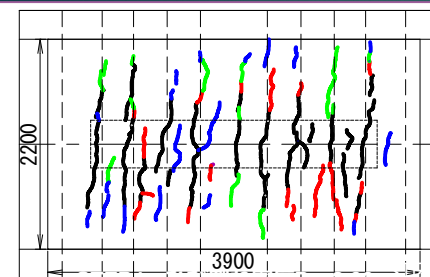
●橋軸直角方向たわみ分布



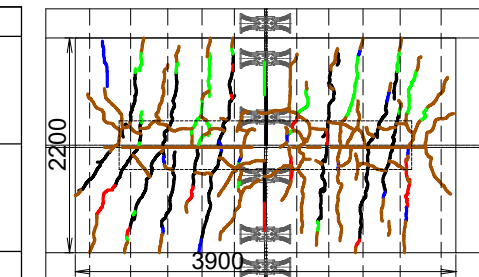
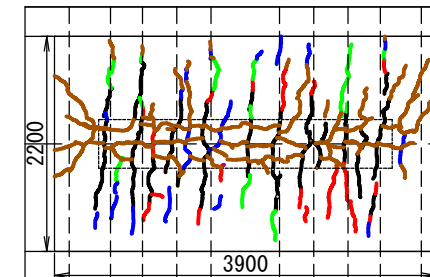
●基準PC床版

STEP4

●コッター床版工法

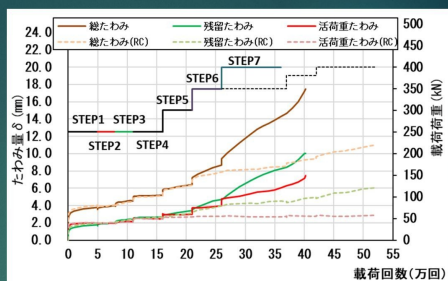


STEP5

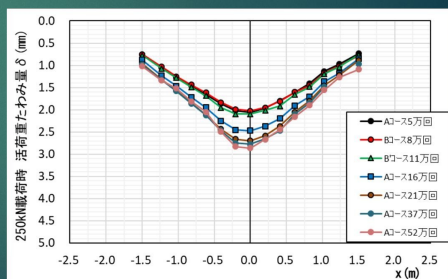
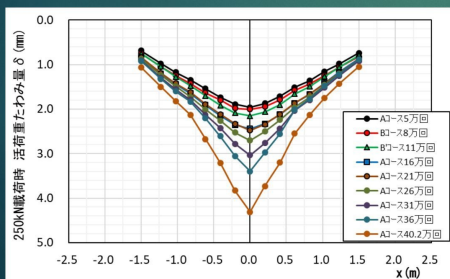


直接ループ継手のRC床版

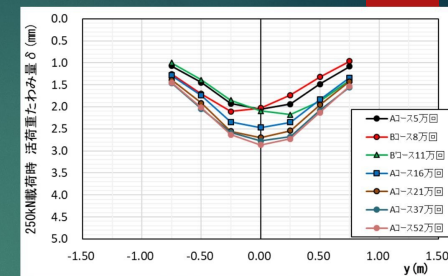
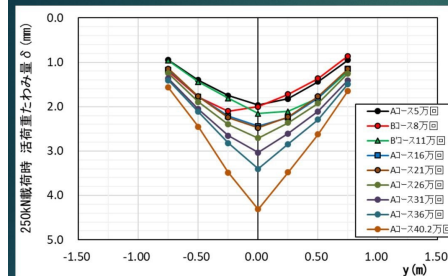
床版中央点の荷重-たわみ変化



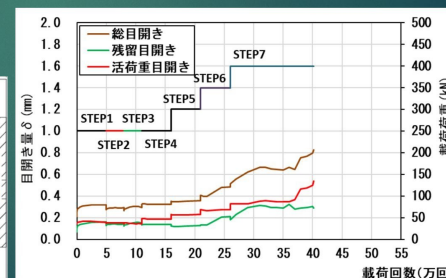
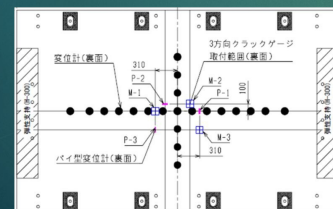
橋軸方向のたわみ分布の変化状況



橋軸直角断面のたわみ分布の変化



継手界面の目開き量の変化



21. 新材料を用いた床版の開発も並進！

①超強度繊維補強コンクリート(UFC)を用いた軽量化・PC床版！
ワッフル床版+PC 阪高+鹿島

②超強度繊維補強コンクリート(PVA-UFC)と超強度鉄筋
 $\sigma_{ck}=150\text{N/mm}^2$ 、USD685 **RC床版** エスコン

③軽量2種コンクリートを用いたプレキャストPC床版
 $\gamma=19\text{kN/mm}^3$ (軽量2種) 2方向PC IHIインフラ建設

④高強度軽量繊維力ナクリートを用いたRCプレキャスト版
 $\gamma=17.8\text{kN/m}^3$ 、 $\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$ 、 $\sigma_{sa}=200\text{N/mm}^2$ カナフレックス
継手は異形鉄筋の短い直筋で

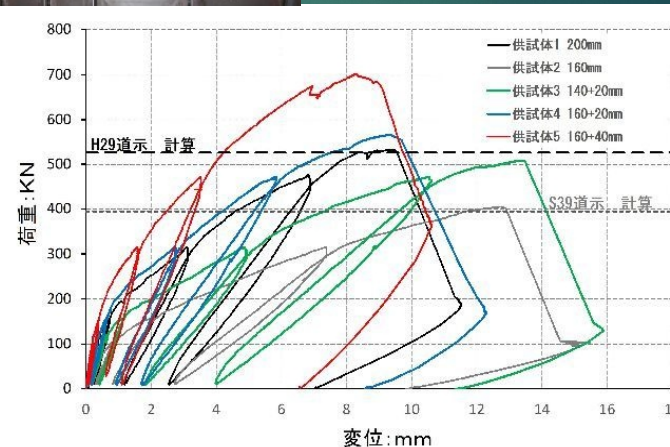
Ⓐ超高密度高強度繊維補強コンクリートによる補修・補強
補修用に特化 J-ティフコム ビービーエム、サンブリッジ
床版継手も異形鉄筋の短い直筋でよい

J-ティフコムの上面打足の補強効果 (速報)



試験体	タイプ	最大荷重	単位
供試体1	H29道示 RC200	532.2	K N
供試体2	S39道示 RC160	404.4	K N
供試体3	RC140+JT20	507.2	K N
供試体4	RC160+JT20	566.0	K N
供試体5	RC160+JT40	701.4	K N
計算値1	H29道示 計算値	526.0	K N
計算値2	S39道示 計算値	394.0	K N

荷重-変位(荷重直下)



22. 一般道の橋梁では

一般道ではほとんどは **単独橋！**

更新予算はほとんどない！

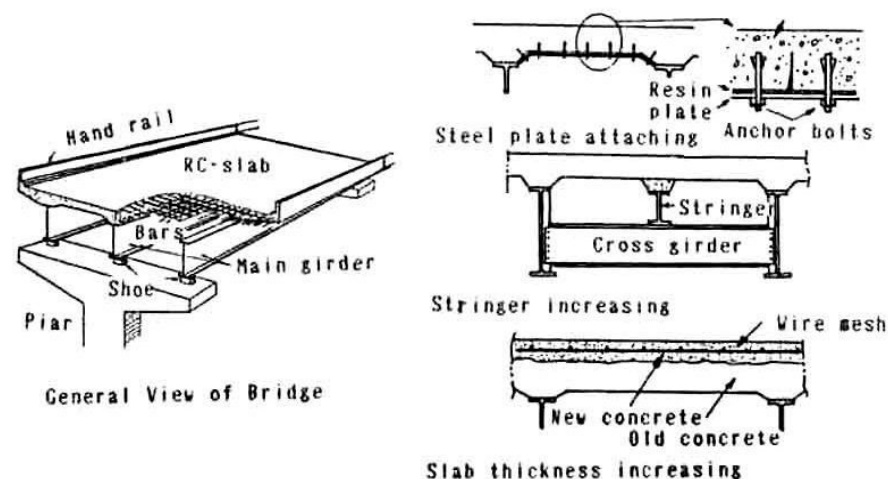
下部工の耐力と前後道路との取り合いから

床版厚を大きくできない！

地方公共団体が管理する橋は

維持管理で対応するのが良い！

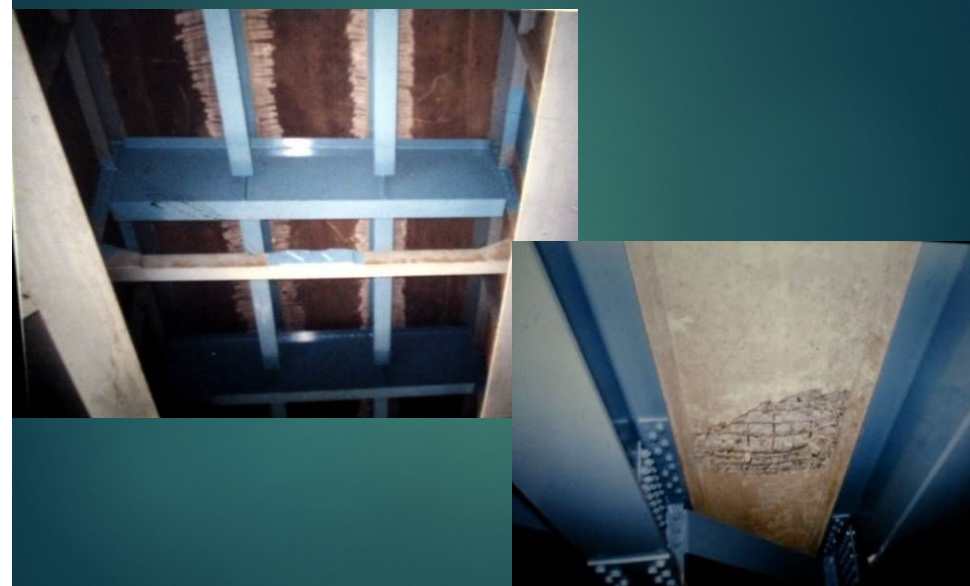
ひび割れ損傷を受けた床版の維持管理代表的な補修・補強工法



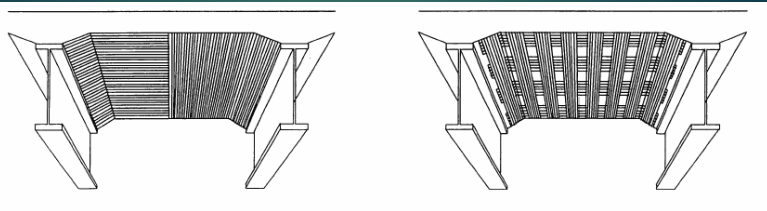
鋼板接着工法



縦桁増設工法



炭素繊維シート接着補強(下面)



Full-surface covering

Grid pattern

格子張りが増加している！

- 材料コストの低減
- 水分の残留を最少に
- コンクリートの劣化のモニタリングが必要

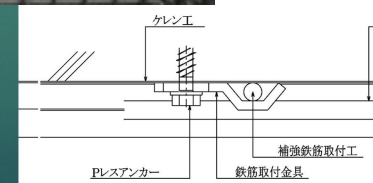
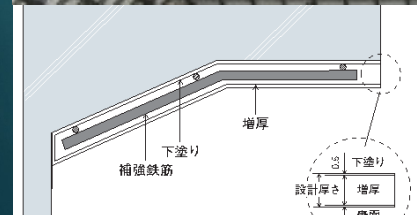
下面増厚工法

鉄筋格子+ポリマーセメントモルタル



鉄筋の
固着が重要

スーパーホ
ゼン式工法

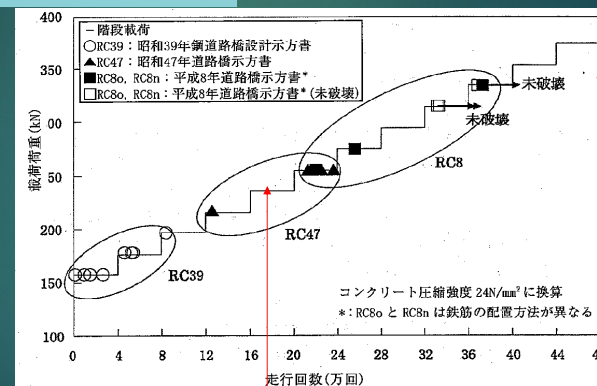
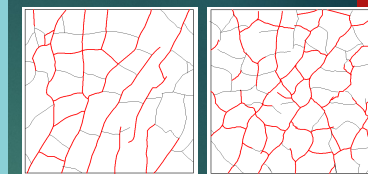


鋼床版風架構補強方法 アンダーデッキパネル工法



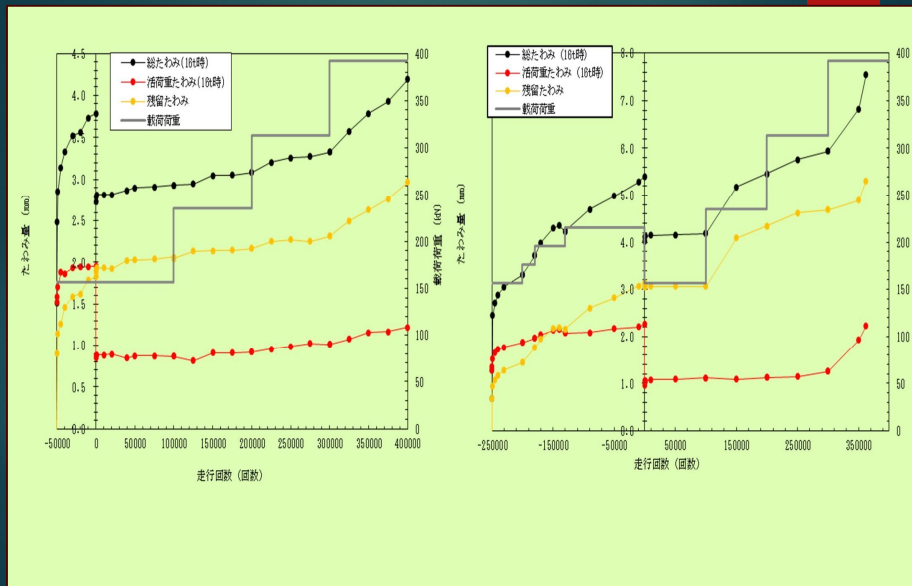
一次载荷回数】

供試体Ⅰ,Ⅱ 供試体Ⅰ(劣化度0.7)
157kN:5万回
供試体Ⅲ
157kN:5万回,
177kN:2万回,
196kN:5万回,
216kN:13万回
計25万回 (157kN換算:856万回)【

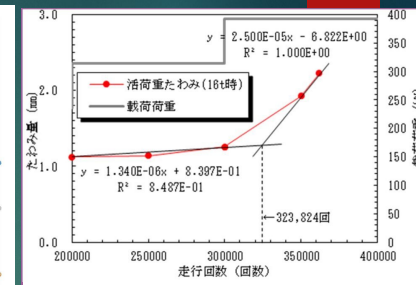


供試体Ⅰ,Ⅱ劣化度0.7相当
(階段载荷で42,225回)

供試体Ⅲ劣化度0.9相当
(階段载荷で190,176回)



3体目の補強後の耐久背評価の疲労载荷



<補強後の延命効果>

	走行回数	157kN累積 等価荷重回数	補強効果	载荷荷重
劣化度0.7	5万回	5万回	—	157kN-5万回
劣化度0.9	25万回	856万回	1	157kN-5万回, 177kN-2万回, 196kN-5万回, 216kN-13万回
使用限界	32.4万回	35億6,065万回	416倍	157kNから10万回毎 に78kN増

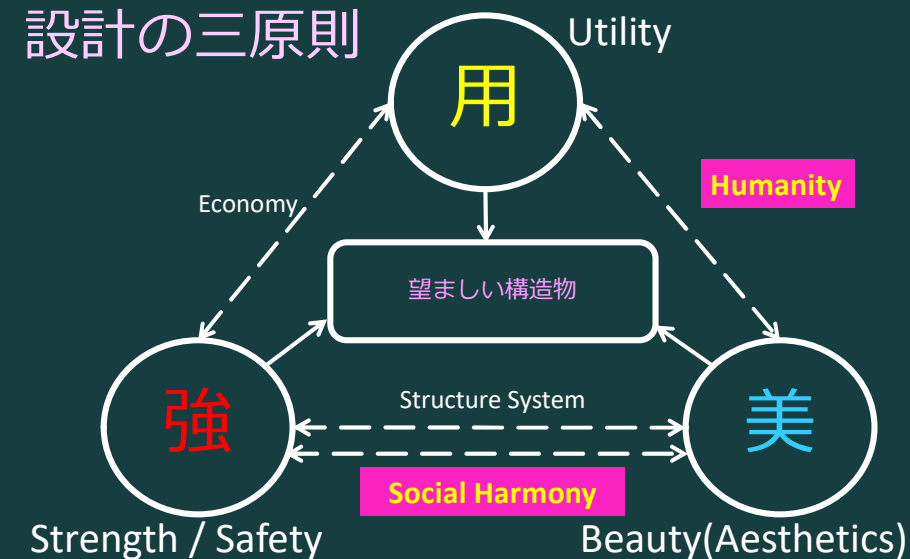
23. 舗装内の水を抜くことが重要！

排水桝の改良型 (MS排水桝)

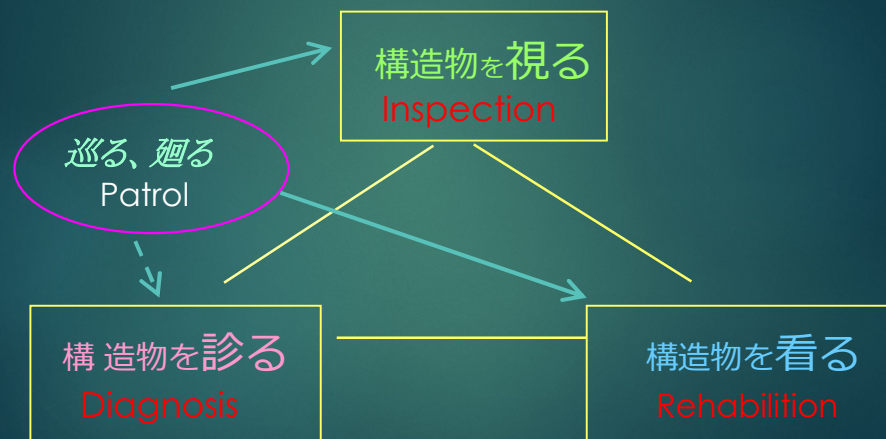


24. エピローグ

設計の三原則



構造物の維持管理の技術力向上のため！
Maintenance



ご清聴有難うございました

鋼鉄道橋の維持管理 － 体系化と私の心掛け －

(株)ジェイアール総研エンジニアリング
市川篤司

自己紹介

1977年 日本国有鉄道

(構造物設計事務所) ...鋼橋の設計を担っていた技術者集団

- ・「建造物設計標準解説」(鋼橋・合成橋編)の改定
- ・設計や維持管理に関する指針・マニュアル類の整備
- ・鋼橋の変状調査・対策提案、等

(新幹線総局岡山保線所) ...コンクリートクライシスで問題になった現場

- ・山陽新幹線構造物の維持管理 ...コンクリート構造物の変状対策
RC高架橋の変状対策(塩害・ASR(アルカリシリカ反応))
PC桁のシーす内への未注入問題への対応、等

(本社施設局土木課) ...国鉄の土木構造物維持管理を統括する部署

- ・国鉄土木構造物の調査・診断等に関わる業務
- ・技術基準類の整備・JR各社への移管
- ・技術基準(設計標準)改定・制定のための枠組づくり
- ・事故・災害の対応(餘部橋梁列車転落事故等)

1987年 鉄道総合技術研究所

自己紹介

1987年 (財)鉄道総合技術研究所

- ・「鉄道構造物等設計標準・同解説」の制定・改定
鋼橋・合成橋編の改定(限界状態設計法)、耐震設計編の制定、等
- ・鋼橋の変状対策、耐震対策等に関わる研究開発
- ・鋼材のリニア鉄道への適用に関する研究開発...磁気抗力対策
- ・変状が発生した鋼橋の調査・診断・対策提案

1998年 東京工業大学土木工学科(出向: 鉄鋼大手5社の寄付講座)

- ・高性能鋼材(高強度鋼・高耐候性鋼)の橋梁への適用に関する研究
- ・鋼構造物の耐久性、耐震性等の性能評価手法に関する研究、等

2001年 (財)鉄道総合技術研究所

- ・「鉄道構造物等維持管理標準・同解説」の制定...構造物維持管理の体系化
- ・「鉄道構造物等設計標準・同解説」の制定・改定
- ・災害復旧(地震・河川災害) ...大規模地震対策
- ・研究開発マネジメント

2015年 (株)ジェイアール総研エンジニアリング

- ・各種構造物の調査・診断・対策提案等

本日の内容

- 鉄道橋梁の維持管理の特徴・課題
- 鋼鉄道橋の維持管理
 - ・代表的な変状
 - ・鋼橋の維持管理の特徴
- 鉄道構造物維持管理の体系化
(「鉄道構造物等維持管理標準」の制定)
 - ・鉄道構造物維持管理体系の変遷
 - ・鉄道構造物等維持管理標準・同解説の制定
- 維持管理における“私の心掛け”

※ 耐震対策については触れない

鉄道橋の維持管理の特徴(1)

構造物(橋梁)

● 経年の進行

平均経年は約60年、100年を超える橋梁(鋼橋)も多数存在

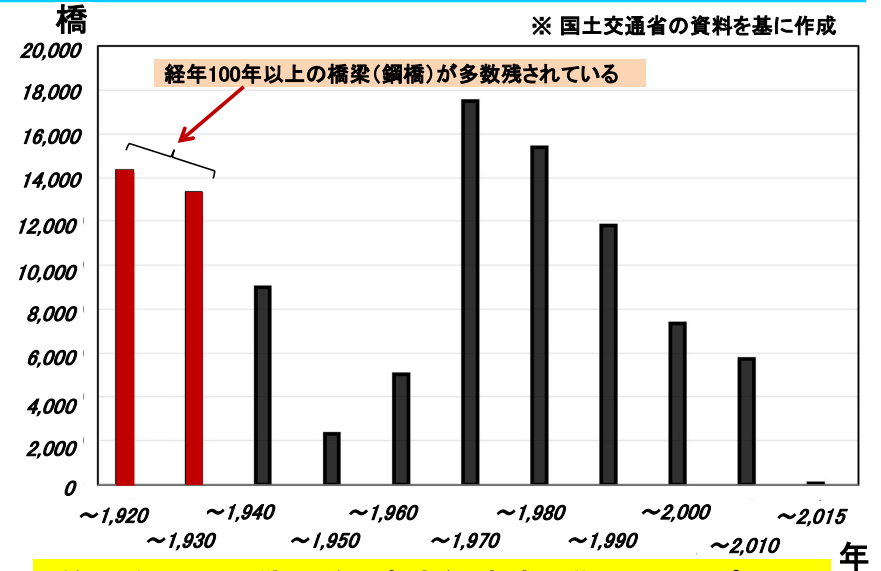
● 幅広い年代の様々な形式・様々な材料

鋼橋: 鋼, 錬鉄, ベッセマー鋼

橋台・橋脚: コンクリート、レンガ・石造り、木杭

鉄道橋の経年

※ 国土交通省の資料を基に作成



- ・第二次世界大戦以前と高度経済成長期の2つのピーク
- ・平均経年は約60年であるが、鋼橋の経年はさらに多い

鉄道橋の維持管理の特徴(2)

鉄道事業者(マネージメント)

● 事業者間の技術レベルに大きな差

- ・構造物の調査・診断を社員が直轄で実施している会社がある
- 一方で、技術者がほとんどいない会社も存在

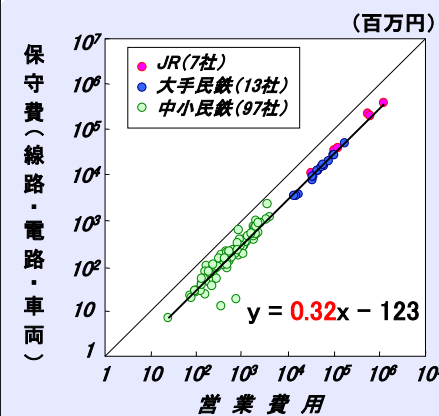
● 限られた経費・要員

- ・閑散線区での構造物維持管理に苦労

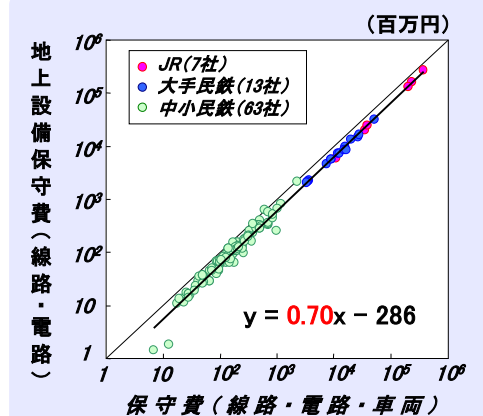
鉄道事業者における維持管理費用の実績

保守費用／営業費用

保守費用(地上設備／全体)



保守費: 営業費用の約30%



地上設備: 保守費の約70%

※第20回鉄道総研講演会資料より抜粋

鉄道橋の維持管理の課題

構造物(橋梁)

- 経年化の進行
- 幅広い年代の様々な形式・様々な材料
 - ⇒ 旧式構造物の長寿命化技術

鉄道事業者(マネージメント)

- 事業者間の技術レベルに大きな差
 - ⇒ 中小民鉄の維持管理水準の向上
- 限られた経費・要員
 - ⇒ 閑散線区での極めて少ない経費で性能を保持する技術、あるいは使用限界を見極める技術(?)

本日の内容

- 鉄道橋梁の維持管理の特徴・課題
- 鋼鉄道橋の維持管理
 - ・代表的な変状
 - ・鋼橋の維持管理の特徴
- 鉄道構造物維持管理の体系化
(「鉄道構造物等維持管理標準」の制定)
 - ・鉄道構造物維持管理体系の変遷
 - ・鉄道構造物等維持管理標準・同解説の制定
- 維持管理における“私の心掛け”

鋼鉄道橋の維持管理

鋼鉄道橋の主な種類

桁の形式

- 上路・下路鈹桁(プレートガーダー)
- 上路・下路トラス桁
- 合成桁
- その他(アーチ桁、SRC桁等)

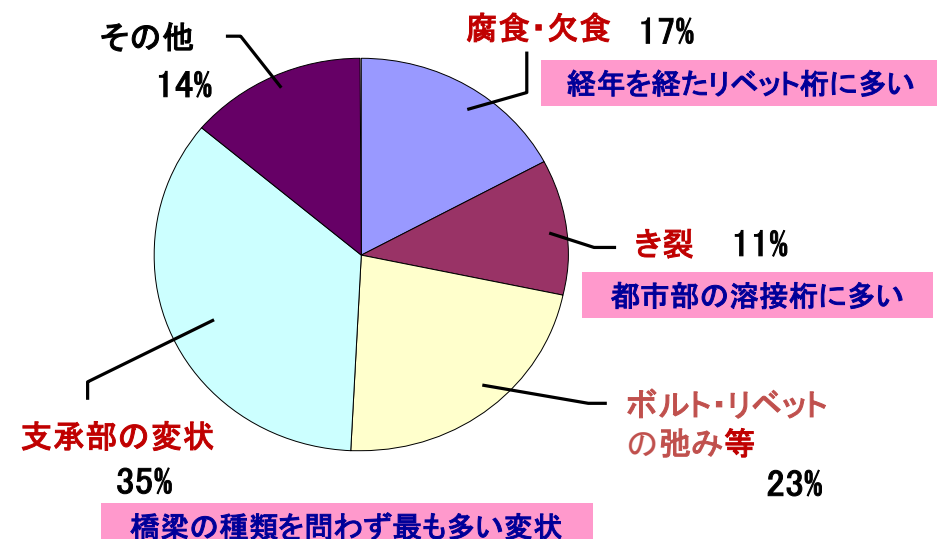
軌道

- 開床式
まくら木軌道・鋼直結軌道
- 閉床式
道床式軌道・スラブ軌道

- ※ 経年を経た鋼橋には、上路プレートガーダーが多い
- ※ トラス桁は、支間60m程度以上で、下路桁が多い
- ※ 閉床式は、騒音が問題になる都市部の橋梁に使用されている
- ※ 合成桁は、比較的新幹線に多い
- ※ 溶接桁は1960年代以降に設計されており、それ以前の鋼橋はすべてリベット桁である

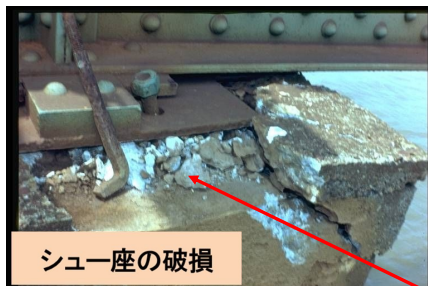
鋼鉄道橋の維持管理 ー変状(損傷)ー

全体の傾向



鋼鉄道橋の維持管理 ー変状(損傷)ー

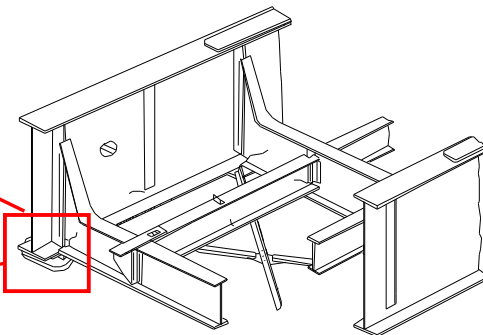
支承部の変状



シュー座の破損



鋼製シューの割れ



可動不良、3点支持、アンカーボルトの抜け等も多い

鋼鉄道橋の維持管理 ー変状(損傷)ー

腐食



まくらぎ下の上フランジ(開床式)



支承部付近

支承部付近の部材が入り組んだ狭隘部に多く発生

支承部の変状原因



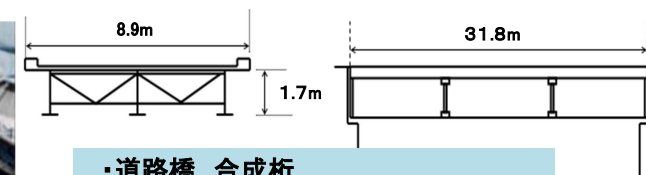
・シュー設置時に残置される鋼製ライナーに起因する損傷が多い
⇒ 補修時には、モルタルと同種材料のライナーを用いる



・経年経った可動シューは、固着しているものが多い
・トラス橋の可動シューのローラは、摩耗等により変形したものが多い
⇒ 可動機能があるうちの清掃は有効な対策

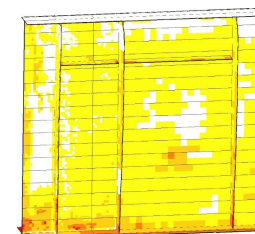
腐食が桁の耐荷力に及ぼす影響

腐食が原因で取替えられた道路橋支承部の載荷実験

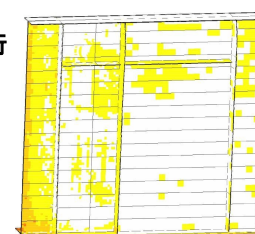


・道路橋 合成桁
・日本海から100mの位置に設置
・架設後25年で取替え

G1桁

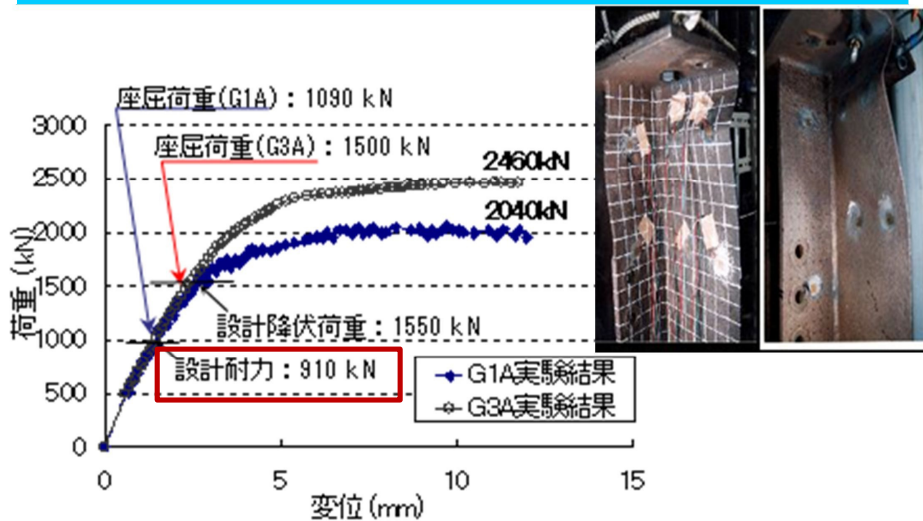


G3桁



腐食状況

腐食が桁の耐荷力に及ぼす影響



腐食が相当進行しない限り大きな耐荷力を保持している

鋼鉄道橋の維持管理 ー変状(損傷)ー

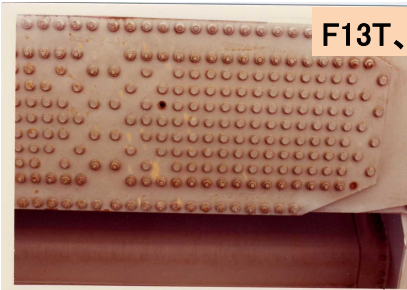
リベット・ボルトの弛み



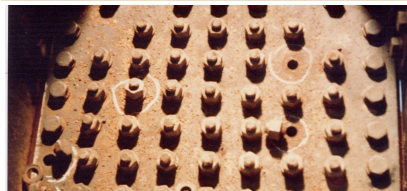
鋼鉄道橋の維持管理 ー変状(損傷)ー

高力ボルト遅れ破壊

F13T、F11Tを用いた継手に発生



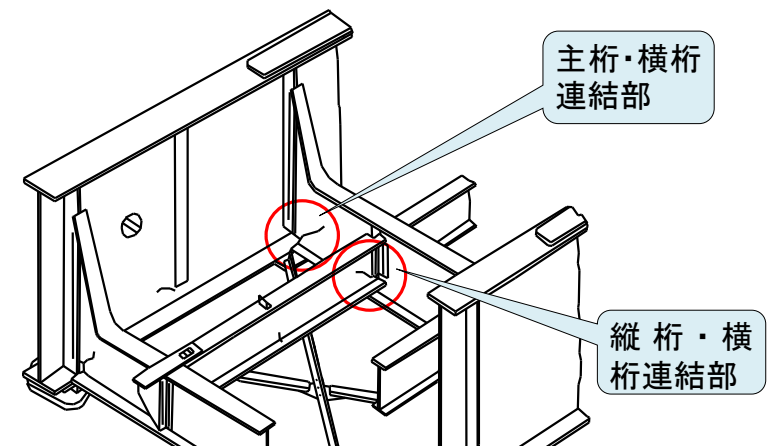
- ・腐食環境の厳しい箇所、内部が湿潤状態の閉断面構造に多い
- ・継手強度の低下が問題になることはほとんどない
- ・破断したたボルトの落下が問題



- ・落下物対策として、F10Tに取換えられている(十分な耐荷力)
- ・通行量の多い架道橋では、発生していなくても取り換えることが多い

鋼鉄道橋の維持管理 ー変状(損傷)ー

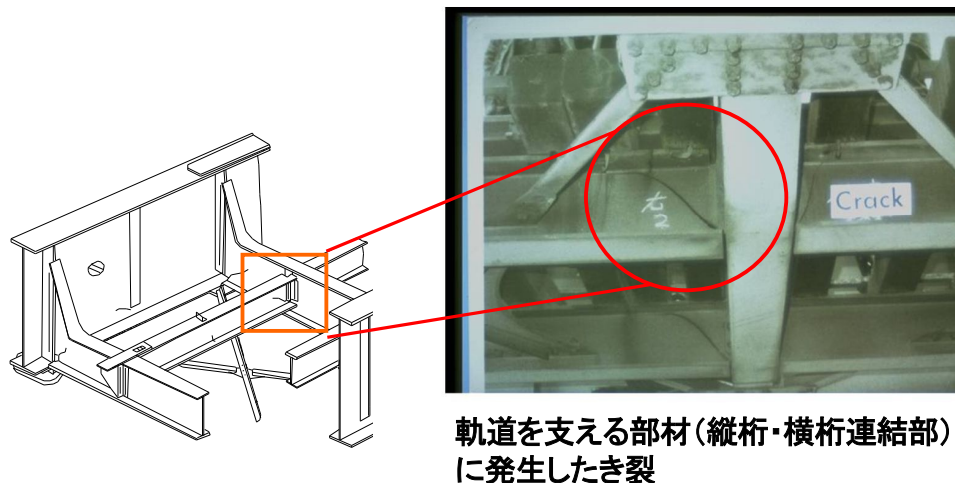
き裂(下路プレートガーダー)



列車本数が多い溶接桁で、部材連結部や強度等級の低い継ぎ手に多く発生

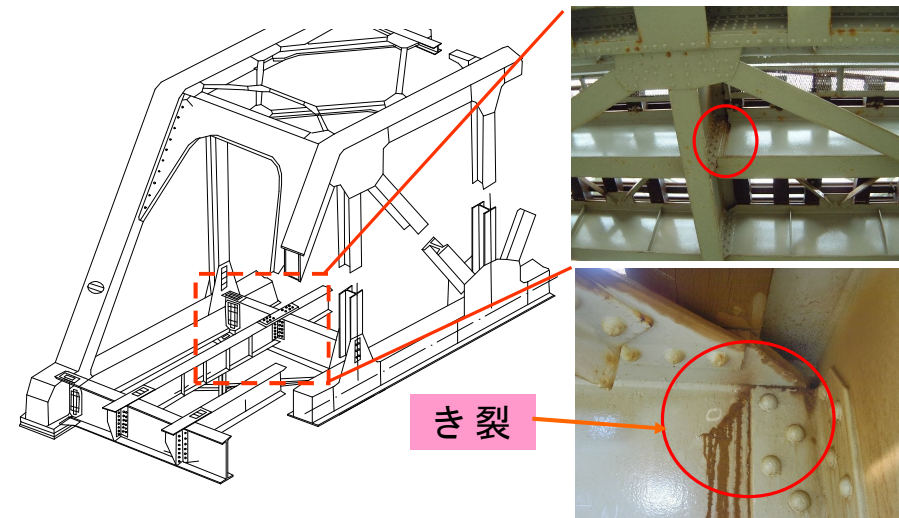
鋼鉄道橋の維持管理 ー変状(損傷)ー

き裂の進行により列車走行を支障した例



鋼鉄道橋の維持管理 ー変状(損傷)ー

き裂(トラス橋)



本日の内容

- 鉄道橋梁の維持管理の特徴・課題
- 鋼鉄道橋の維持管理
 - ・代表的な変状
 - ・鋼橋の維持管理の特徴
- 鉄道構造物維持管理の体系化
 - (「鉄道構造物等維持管理標準」の制定)
 - ・鉄道構造物維持管理体系の変遷
 - ・鉄道構造物等維持管理標準・同解説の制定
- 維持管理における“私の心掛け”

鋼鉄道橋の維持管理 ー特徴ー

リベット桁と溶接桁の特徴

リベット桁

- 経年が進行
 - そのほとんどが70年以上経過
 - 100年以上の桁も多数現役
- 耐力的に余裕のある桁が多い
 - (設計荷重が大きいことも要因)
- 代表的な変状
 - ・支承部の変状
 - ・**腐食**
 - ※き裂は、一部の桁で支点部に発生(シュース座の変状に起因)

※ 鋼材は、破壊靱性値が低く溶接補修に適さない
→ 補修は高力ボルトが基本

溶接桁

- 昭和30年代から本格的に使用
 - リベット桁に比べて**スレンダー**
 - (振動しやすい部材が多い)
 - (設計荷重は小さくなっている)
 - 代表的な変状
 - ・支承部の変状
 - ・**疲労き裂**
 - 列車本数の多い線区の桁
 - 振動し易い部材・応力集中箇所
- ※ 疲労き裂の補修は、ストップホールと高力ボルトによる当て板補修が基本
(疲労強度等級の低い溶接が行われること、および溶接品質を懸念)

鋼鉄道橋の維持管理 ー特徴ー

標準設計(支間・構造ディテール)

明治時代の初期から設計の標準化が行われてきた

- ・イギリス人技師ポーナルが、20フィート～70フィートまで10フィートおきに錬鉄製の上路プレートガーダーの定規図を完成(作錬式、1885年)
- ・それ以来、標準化(支間)が行われてきた ⇒ 構造ディテールについても



維持管理上のメリット

- ①何か問題が発生した際その他橋梁への対応が容易
- ②検査(調査)のポイントが明確
- ③補修・補強方法の標準化が可能
- ④災害時に利用可 (1982年:東海道線富士川橋梁のトラス桁が台風により流出 ⇒ 3か月で復旧)

設計の標準化のメリット

- ・設計の手間が省け、建設費と工費の節減が図れる
- ・同じ設計の橋梁を多数工場制作するため、品質が安定する
- ・標準的な架設工法が採用でき、経費の節減と安全性の向上が図れる
- ・維持管理がしやすい

鋼鉄道橋の維持管理 ー特徴ー

大きな設計荷重と実列車荷重の管理

- ・経年の進んだ桁: KS-18やKS-16(機関車荷重)で設計された桁がほとんど設計荷重が橋梁に与える影響 > 実列車荷重
- ・実列車荷重は、設計荷重以下に管理されている
- ・そのため、耐力に余裕がある桁が多く、腐食などで助かっていることも多い



保守限応力度・現有応力比率の概念

- ・特大貨物車(変圧器等を運ぶ形式の車両)のような設計荷重を超える列車の一時的な入線を許容
- ・腐食により板厚が減肉した桁の健全度の評価(耐荷性の照査)が容易

鋼鉄道橋の維持管理 ー特徴ー

保守限応力度と現有応力比率

保守限応力度: 現在供用している桁では、安全率に含まれている不確定要因の一部が明確になっており、安全率を小さくできるといった考え方から定めた限界応力度(部分安全係数と同様の考え方)

※ 設計荷重を超える“特大貨物車”を橋梁に入線させる場合の手法として既に国鉄時代から導入されていた

一時入線時の保守限応力度(σ_m)(普通鋼の引張応力度)

鋼材の年度別区分	1928年以前	1929 ～1950年	1951 ～1969年	1970～
保守限応力度 (N/mm ²)	165	176	リベット 184 溶接 161	168

$$\text{現有応力比率(SR)} = \frac{\text{保守限応力度}(\sigma_m)}{\text{実荷重によって部材に生じる最大応力度}(\sigma)} \times 100(\%)$$

※ SR ≤ 100 の場合入線不可

鋼鉄道橋の維持管理 ー特徴ー

国鉄時代の設計図面の管理

国鉄時代、鋼橋は構造物設計事務所が設計を行い、図面も一元的に管理していた

⇒ 国鉄民営分割時に、(公財)鉄道総合技術研究所、JR各社へ移管され、現在も管理されている



問題が生じた際に、容易に構造を把握でき、素早い対応(補修・補強、他橋梁への影響の把握等)が可能である

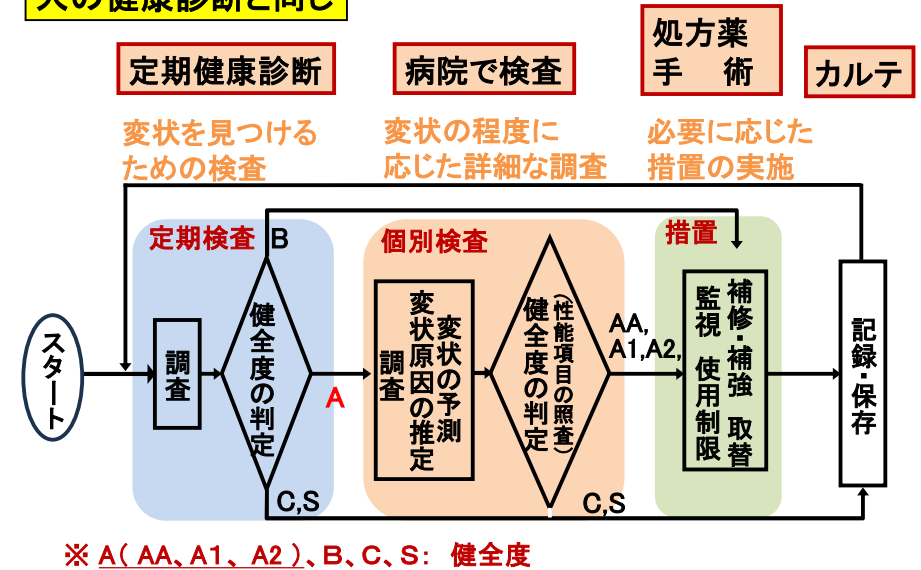
※ ただし、民鉄では、古い橋梁の図面は残されていない会社が多い

本日の内容

- 鉄道橋梁の維持管理の特徴・課題
- 鋼鉄道橋の維持管理
 - ・代表的な変状
 - ・鋼橋の維持管理の特徴
- 鉄道構造物維持管理の体系化
(「鉄道構造物等維持管理標準」の制定)
 - ・鉄道構造物維持管理体系の変遷
 - ・鉄道構造物等維持管理標準・同解説の制定
- 維持管理における“私の心掛け”

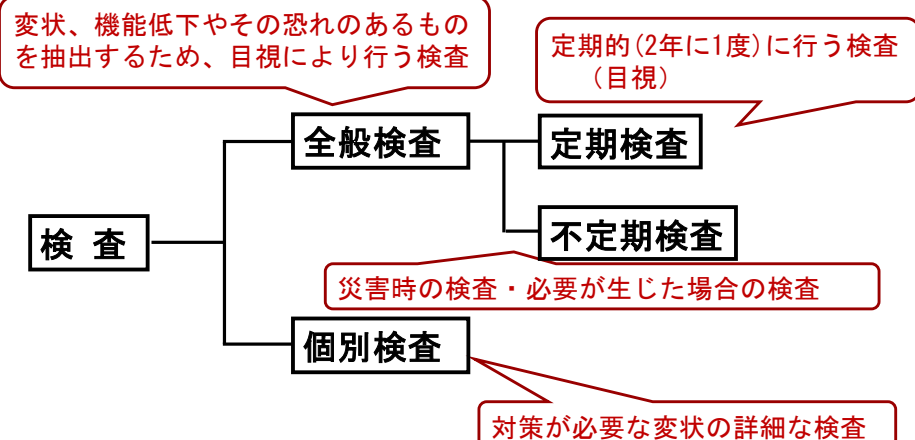
鉄道構造物の維持管理手法（手順）

人の健康診断と同じ



鉄道構造物の維持管理手法（検査区分）

※ 国鉄～「鉄道構造物等維持管理標準・同解説」の制定まで



※ 鉄道では、調査・診断を「検査」、損傷や何らかの異状を「変状」と称している

鉄道構造物の維持管理手法（健全度）

健全度 ランク	運転保安, 旅客 の安全に対する 影響	変状の程度	措 置
A	AA 脅かす	重大	緊急に措置
	A1 早晚脅かす 異常時外力の作用時に脅かす	進行中の変状があり性能低下も進行している	早急に措置 (年度内あるいは 次年度)
	A2 将来脅かす	性能低下のおそれがある変状がある	必要な時期に措置 (2 ~ 3年)
B	進行すれば健全度Aになる	進行すれば健全度Aになる	必要に応じて監視等の措置
C	現状では影響なし	軽微	次回検査時に必要に応じて重点的に調査
S	影響なし	なし	なし

鉄道構造物維持管理体系の変遷 (1)

● ~戦後直後

→ 何か問題があったから対処 (事後保全)

- ・技術基準は、軌道保守基準のみ (土木構造物は無し)
- ・土木構造物は永久構造物であるとの認識が一般的

太平洋戦争中の構造物の荒廃
戦後の保守の不在

→ 事故・災害が多発

● 1950年～1950年代半ば

→ 現行の維持管理手法 (予防保全) への道筋

- ・戦中・戦後の放置による荒廃への対処、予防保全へ方向転換
- ・保守台帳の整備・保守心得の試行により、予防保全へ道筋

1950年: 保守基準の整備の動きが始まる

1953年: 実態調査

1954年: 保守台帳の制定

1956年: 建造物保守心得 (案) が定められ試行される

...現行と同様の手法 (巡回検査・定期検査・特別検査・随時検査)

不定期検査に相当

個別検査に相当

鉄道構造物維持管理体系の変遷 (3)

事前の (定期的な) 調査 → 変状等の抽出

健全度の判定

必要に応じて詳細な検査・判定

措置 (監視・補修・補強等)

予防保全

1950年代前半には、既に予防保全による維持管理が試行されていた体制を含めて現在の形に体系化されたのは、1970年代前半である

※ 人の健康診断

1911年: 結核予防を目的にした健康診断 (工場法)

1954年: 組織的な人間ドッグがスタート

1972年: 年1回の健診が事業者に義務付けられる (労働安全衛生法)

鉄道構造物維持管理体系の変遷 (2)

● 1950年代後半～1960年代

→ 予防保全のための実施体制の整備とブラッシュアップ

- ・検査技師の育成や体制の整備、老朽原因究明・検査・修繕・取替等の長期的な研究の実施

1958年: 長期研究計画案の作成

1965年: 「建造物検査標準」の制定

1965年～: 保線区に検査担当職員を配置

● 1970年代～

→ 予防保全の体系化 (取替標準の制定)

- ・実質的な維持管理の技術標準である「土木建造物取替の考え方」 (通称: 取替標準) の作成 → 予防保全の体系の構築

1972年～: 建造物検査センター (主に個別検査を実施) を設置

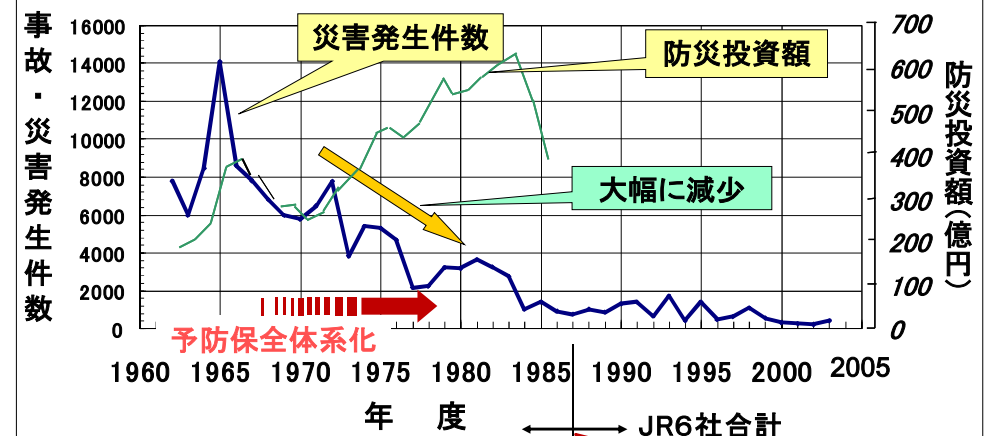
1974年: “取替標準” の制定

取替標準: 検査を含めた構造物維持管理業務全般の指針

- ・将来計画的に取替を進めていくための判定基準として定められた
- ・維持管理の技術的な手法についても明示されている

鉄道構造物維持管理体系の変遷 (4)

予防保全の効果



投資すべき弱点構造物が明確になって投資額が増え、それとともに事故・災害が減少した

鉄道構造物維持管理体系の変遷(5)

- 1987年(国鉄民営分割)～ → 国鉄時代の維持管理手法の継続(JR各社)
 - ・「取替標準」をもとに、現場で使いやすいように改定した「**建造物保守管理の標準・同解説**」を作成 ⇒ JR各社に移管・それに基づく維持管理の実施
 - ※ 建造物保守管理の標準・同解説:
 - ・JR各社が国鉄時代と同様の維持管理を行うように誘導することを意図
 - ・国鉄民営分割に伴うJR各社への技術移転の一環として作成
- 2007年 → 「**鉄道構造物等維持管理標準・同解説**」の制定による鉄道事業者全体への展開
 - ・性能規定に基づく「**鉄道構造物等維持管理標準**」の制定(国土交通省から通達) ⇒ **全ての鉄道事業者が同一の体系で維持管理**

維持管理標準の制定



監修: 国土交通省鉄道局
編: 鉄道総合技術研究所

鉄道構造物等維持管理標準・同解説
(2007年1月発刊)

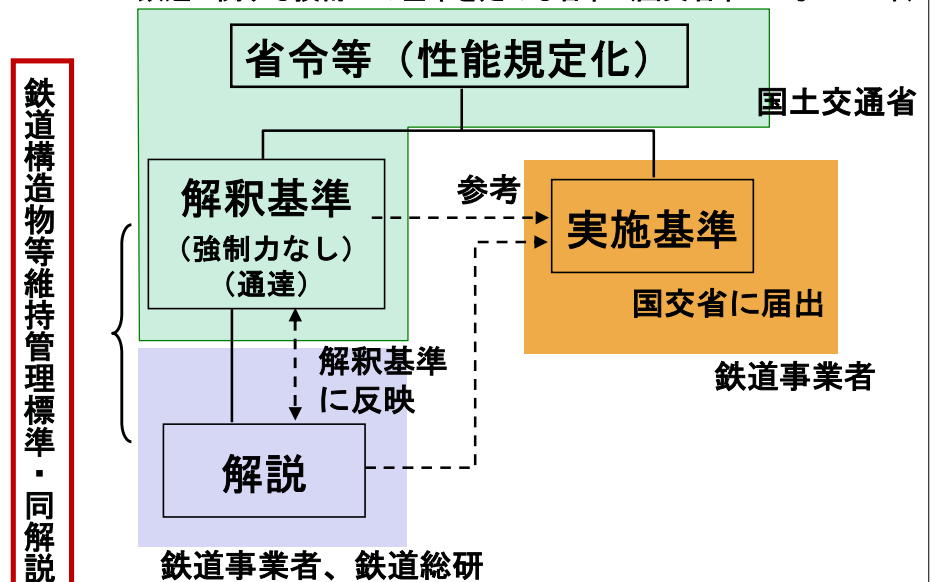
鉄道構造物に対する検査手法及び健全度の判定、必要に応じて行う措置、記録等、維持管理に関する基本的な考え方・手法を示したもの

本日の内容

- 鉄道橋梁の維持管理の特徴・課題
- 鋼鉄道橋の維持管理
 - ・代表的な変状
 - ・鋼橋の維持管理の特徴
- 鉄道構造物維持管理の体系化
(「**鉄道構造物等維持管理標準**」の制定)
 - ・鉄道構造物維持管理体系の変遷
 - ・**鉄道構造物等維持管理標準・同解説の制定**
- 維持管理における“私の心掛け”

維持管理標準の制定一位置付け

鉄道に関する技術上の基準を定める省令(国交省令151号:2001年)



維持管理標準の制定－経緯－

- 1986年：運輸省：構造物の維持管理に関わる基準作成に対する意見聴取
国鉄施設局：構造物維持管理は鉄道事業者の経営判断で行うべき事柄
- 1995年頃：運輸省鉄道局：鉄道総研に維持管理に関わる基準作成に向けての打診
鉄道総研：（国交省と鉄道事業者の板挟みにあう懸念）
鉄道事業者の経営判断で行うべき事項
- 1999年頃：運輸省鉄道局から維持管理標準作成への強い要請（鉄道の安全を守るために必要な基準）
- 2000年：「鉄道土木構造物の維持管理に関する研究委員会」（事務局：鉄道総合技術研究所）の設置
- 2007年：「鉄道構造物等維持管理標準・同解説」の刊行

維持管理標準の制定－背景－

トンネル覆エコンクリートの剥落事故の発生

福岡トンネル（1999年6月）

新幹線走行中に剥落し（250kg）新幹線車両が破損

北九州トンネル（1999年10月）

線路脇の剥落塊（226kg）を作業確認車が発見

礼文浜トンネル（1999年11月）

線路上の剥落塊（2ton）に貨物列車が乗上げ脱線

構造物の耐久性への疑問（社会問題化）
構造物の維持管理の重要性再認識

維持管理標準の制定－関係者の要望－

- 国土交通省（鉄道局）
 - ・ 鉄道が社会的に求められる**維持管理等の水準**を国が示す
 - ・ 鉄道の技術基準：性能規定化を進める
（運輸技術審議会鉄道部会からの提言）
- 大手鉄道事業者
 - ・ 維持管理標準には、**必要最小限の事項のみ**記載されたい
（維持管理の内容の多くは、**経営判断から決めるべきもの**）
- 中小鉄道事業者（中小民鉄 維持管理担当者）
 - ・ 維持管理標準には、必要なことを**できる限り**記載されたい
（維持管理に**必要なリソースを確保するための根拠**になる）

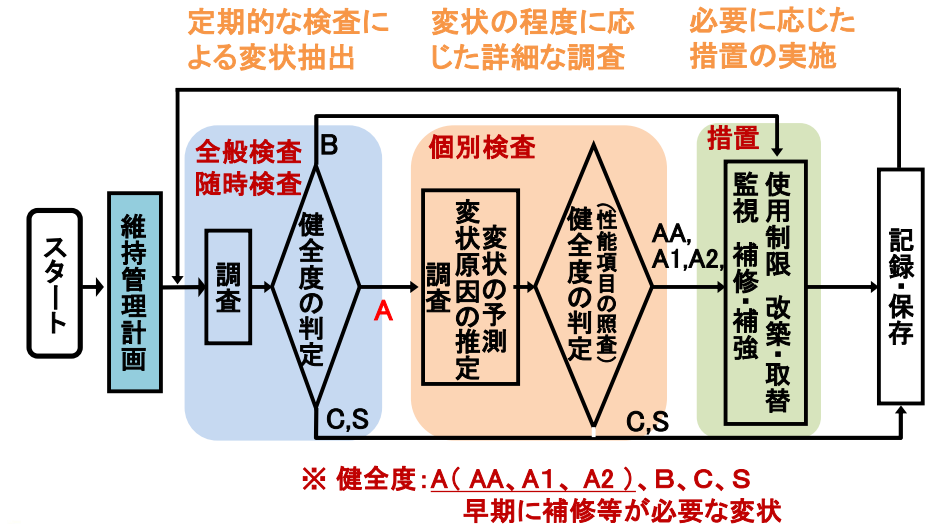
維持管理標準の制定－基本方針－

- これまでの維持管理の手法（国鉄⇒JR）を踏襲
- 鉄道構造物に対する**維持管理の一定の水準**を示す
↳ 中小民鉄の誘導
- **性能規定化の方針**を受けて維持管理を体系化
↳ 性能の観点で再構築

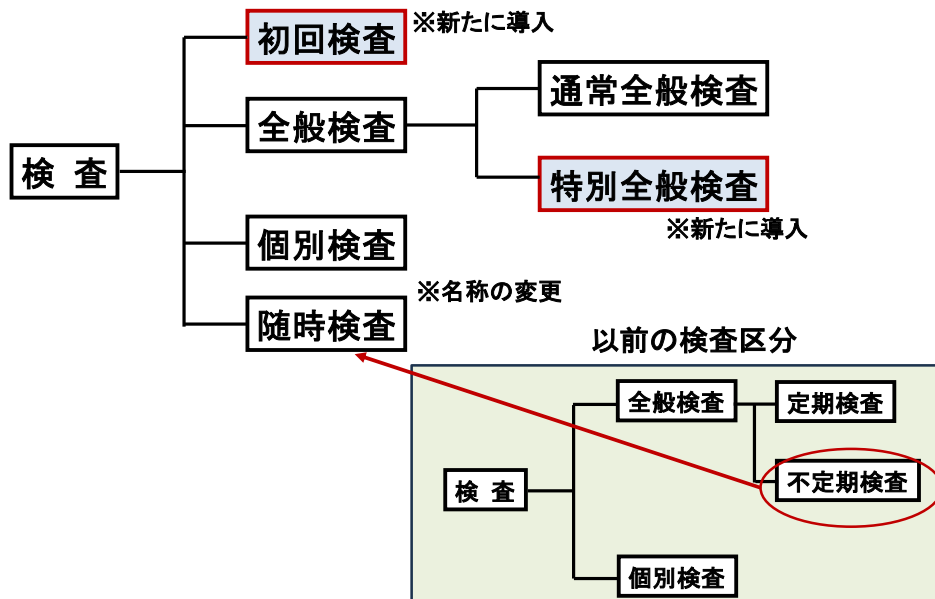
維持管理の原則

- (1) 要求性能を考慮し、**維持管理計画**を作成
- (2) 構造物の供用中は、**定期的な検査**の実施
目視を主体にした調査 ⇒ 変状の抽出
- (3) 必要に応じて詳細な検査の実施
損傷程度が比較的大きな変状 ⇒ **詳細な調査**
(入念な目視＋機器)
- (4) 性能の確認
性能を満たしているかどうかの確認 ⇒ **健全度の判定**
- (5) 性能レベルの程度に応じた措置
要求性能を満たさない or その恐れのある変状 ⇒ **措置**
- (6) 検査および措置等の記録・保存 ⇒ **カルテ化**

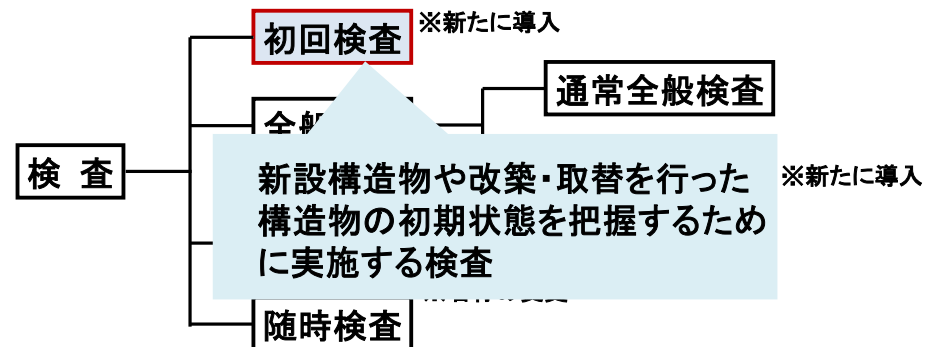
維持管理の手順



検査の区分



検査の区分



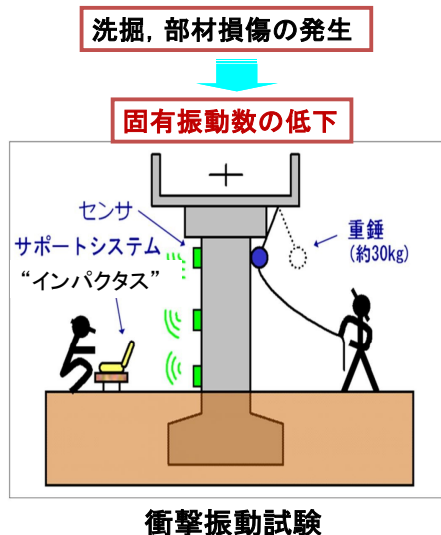
初回検査で推奨される検査の例

桁のたわみ量(初期値)の測定 橋脚・高架橋の固有振動数の測定

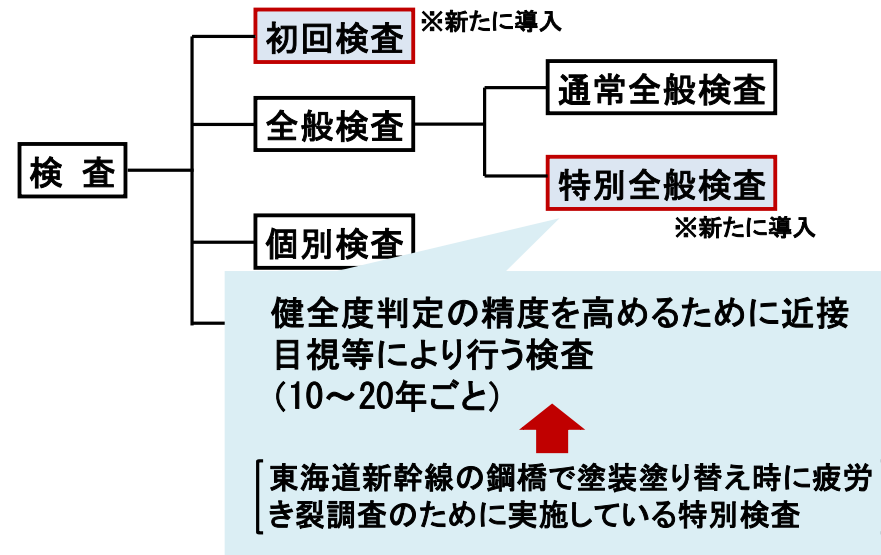


最近の測定システム
(Uドップラーシステム)

※ どちらも鉄道総研が開発



検査の区分



特別全般検査の導入の背景

東海道新幹線の鋼桁で導入した特別検査

様々な部材・部位に発生する疲労き裂は、従来の全般検査では発見が難しいため、それを補完するために導入した検査

目視詳細検査

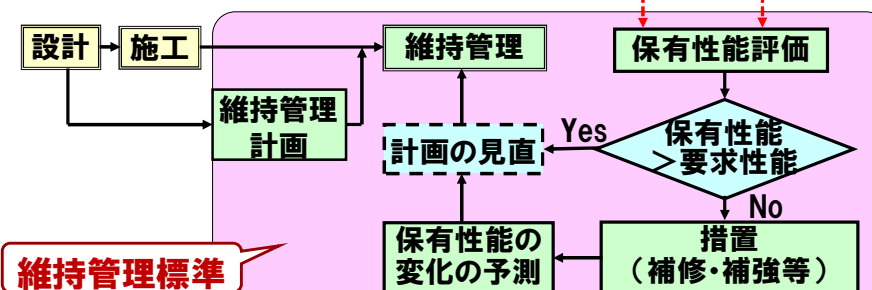
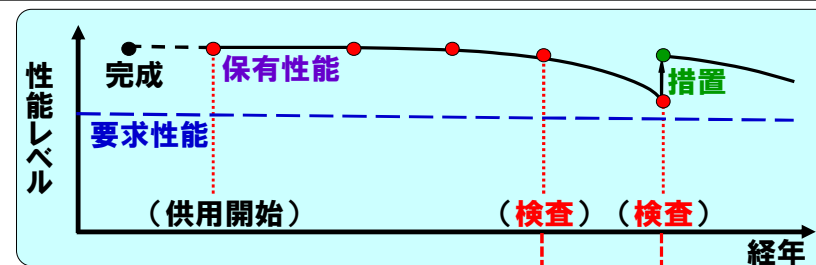
- ・入念な検査が必要 ⇒ 検査に使える時間の確保が難しい
構造物検査センターの主たる業務とする
- ・足場がない場所 ⇒ 近接目視による詳細な検査ができない
8年に1度塗装足場を利用して検査する
- ・検査者は疲労の専門家でない ⇒ 検査のポイントがわからず、検査の漏れが生ずる
疲労に対する専門社員が検査する

実橋測定

致命的な疲労き裂 (縦ヒートと溶接フランジが割れ) が発生する可能性を事前に判定

維持管理の性能規定化

設計, 施工のみならず維持管理を含めて性能を確保する



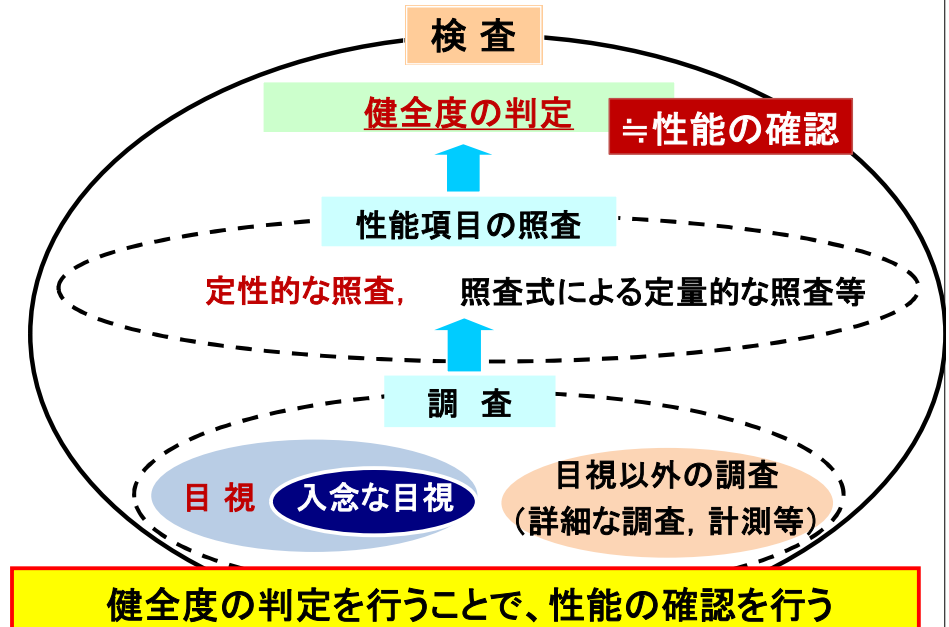
維持管理における性能

●維持管理において構造物に要求する性能

- ・列車が安全に走行するとともに、周辺の人々の生命が脅かされないための性能(**安全性**)
- ・必要に応じて **使用性** や **復旧性** など考慮

要求性能	性能項目	(定量的)照査指標の例
安全性	破 壊 疲労破壊 走行安全性 <u>公衆安全性</u>	力, 変位・変形 応力度, 力 変位・変形(たわみ) 中性化深さ, 塩化物イオン濃度

維持管理における性能確認の考え方



記 録

検査結果、
措置の内容

- ・維持管理を行う上で重要な資料
- ・類似構造物の維持管理での貴重な参考資料

記録・保存

※ 必要な記録は、半永久的に(構造物が存在する間)保存する

⇒ 全ての鉄道事業者が個々の構造物の調書(カルテ)を作成

維持管理標準の制定



監修: 国土交通省鉄道局
編: 鉄道総合技術研究所

鉄道構造物等維持管理標準・同解説
(2007年1月発刊)

全ての鉄道事業者の土木構造物に適用される維持管理のバイブル

⇒ 維持管理レベルの差の解消につながる? 期待!

本日の内容

- 鉄道橋梁の維持管理の特徴・課題
- 鋼鉄道橋の維持管理
 - ・代表的な変状
 - ・鋼橋の維持管理の特徴
- 鉄道構造物維持管理の体系化
(「鉄道構造物等維持管理標準」の制定)
 - ・鉄道構造物維持管理体系の変遷
 - ・鉄道構造物等維持管理標準・同解説の制定
- 維持管理における“私の心掛け”

維持管理における私の心掛け

鋼橋をはじめとする構造物の維持管理業務

変状の原因究明や補修・補強方法、災害時の復旧方法を考える時など

⇒「これでいいのか？」 不安！



日頃から心掛けていること（私の心掛け）

先輩達から教えて頂いたことや自分の経験等から、維持管理業務を行う際に日ごろから心掛けていることをまとめたもの

維持管理における留意点（私の心掛け）

- ① 基本的な間違いがないかを確認すること
- ② 変状の原因解明では、**構造系全体**をみて判断すること
- ③ 現場と設計図(竣工図も含む)は**一致しない**と心得ること
- ④ 変状は必ず現場に出向いて**自分の目**で確認すること
また、日頃からできる限り多くの変状を見ること
- ⑤ 調査の前に変状・対策**事例**を事前に勉強すること
- ⑥ 実験や解析では、実際の状況の**再現性**を十分に検討すること
- ⑦ 補強が**補弱**になったり、**他の弱点**が問題にならないかに注意すること
- ⑧ 適切な補修・補強は、取換えに比べて大幅な**コスト低減**になると心得ること
- ⑨ 災害や事故時にこそ技術力が問われると心得て**全力を尽くす**こと

維持管理における留意点（私の心掛け）

- ① 基本的な間違いがないかを確認すること

(考えられないような)基本的な間違いは意外に多い！

- ・橋梁の斜角：斜角の左右を取り違えていた
- ・橋梁の支間：架設したら支間が違っていた
- ・建築限界支障：架設した下路桁が建築限界を支障していた
-

- ② 変状の原因解明では、**構造系全体**をみて判断すること

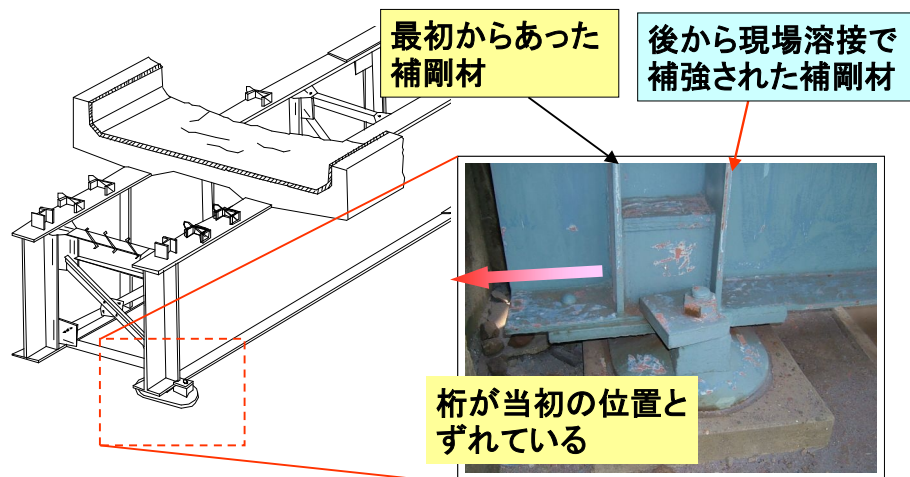
変状の原因を考える際には、必ず変状と構造系全体の挙動との関連を考えるようにしている

- ・変状の原因はいろいろな所に潜んでいる

例：支承部の変状 ⇒ 橋台・橋脚の異状に起因して発生

① に関連した事例

支間を間違え補強したケース



維持管理における留意点（私の心掛け）

③ 現場と設計図（竣工図を含む）は**一致しない**と心得ること

設計図にはない部材があることがある

・補強部材、架設時に用いた部材、等

部材寸法が設計図と異なることもある

維持管理における留意点（私の心掛け）

④ 変状は必ず現場に出向いて**自分の目で**確認すること また、日頃からできる限り多くの変状を見ること

写真だけではわからないことがある

- ・変状が安全性に及ぼす影響（発生している部材・部位、程度、量等）
- ・構造系全体を考慮しないと原因がわからない変状
- ・対策の提案に必要な作業空間・環境等の情報

構造物と変状のイメージが湧くようになると仕事がとてもやり易い

- ・鋼構造物、コンクリート構造物、トンネルの変状、その他道路橋の変状も多数見てきた ⇒ 大きな財産

維持管理における留意点（私の心掛け）

⑤ 調査の前に変状・対策**事例**を事前に勉強すること

事例は多くのことを教えてくれる

- ・変状調査で現場に行く際には、同種の変状の事例を事前に調べてから行くことにしている

⑥ 実験や解析では、実際の状況の**再現性**を十分に検討すること

変状原因の究明や対策策定のための実験や解析では、主に以下の点を中心に確認することになっている

- ・解析：モデル化や境界条件
- ・実験：模型の形状、寸法、載荷条件、測定項目、センサ配置等
- ・実橋測定：ゲージ1枚1枚が何を測るためのものかを説明できること

維持管理における留意点（私の心掛け）

- ⑦ 補修・補強が**補弱**になったり、**他の弱点**が問題にならないかに注意すること

補修・補強時には、特に以下の点に留意している

- ・溶接による補修・補強 ⇒ 新たな応力集中箇所
- ・比較的大きな補強 ⇒ 部材の固有振動数の変化や構造系の変化

- ⑧ 適切な補修・補強は、取換えに比べて大幅な**コスト低減**になると心得ること

安易に取替を考えないようにしている（取替は最後の手段）

橋台と盛土の一体化



鋼桁と橋台の一体化

工事費：架け替えの1/3

（公財）鉄道総合技術研究所

維持管理における留意点（私の心掛け）

- ⑨ 災害や事故時にこそ技術力が問われると心得て**全力を尽くす**こと

- ・災害や事故時には、列車を通せるかの判断、復旧方法の判断等、短時間に多くの判断が求められる
- ・その際、どのように考え・行動し、どのように判断するかによって、その後の良し悪しが大きく左右される

異常時には緊急の判断が求められる

例えば



橋桁への車の衝突



橋の最重要部材が変形

- ・列車を走らせることの可否の判断
- ・緊急に補修・補強しなければならないが、その方法の提案



技術者の手腕が問われ、その一方で活躍できる場でもある
（そのような体験ができることは技術者冥利に尽きる）
また、技術力が身につくいい機会でもある

おわりに

山陰本線 余部橋梁（旧）

— 鉄道構造物の維持管理の象徴（だった橋） —



- ▶ 海からの距離：70m
- ▶ 維持管理：
 - ・橋守り（1950年代まで）
 - ・定期的塗り替え
- ▶ 経年：98年
 - 強風問題で取替（経済的寿命）

確実に維持管理を実施



構造物は、100年をはるかに
超えて供用可能

鋼鉄道橋の維持管理

－ 体系化と私の心掛け －

(株)ジェイアール総研エンジニアリング
市川篤司