

## 第 1 回 定 期 研 究 会

## 平成25年度SGST第1回定期研究会 議事録

日時：平成25年4月23日(火) 16:00～17:30

場所：名城大学 名駅サテライト

出席者：青嶋(中部復建設)，谷川(コベルコ)，安藤，原田(一)，泉野(玉野総合C)，岡本(パシフィックC)，園部，紅林(JIP)，川瀬(日中C)，萬谷(川田工業)，坂井田(大日C)，中野，横井(愛知)，永富(八千代E)，佐藤(篠田)，森野(長大)，渡辺，近藤，葛，久保(名城大)，北川(名高)，川西，陳(豊田高専)，伊藤，北根，廣畑(名大)，神頭，山田(忠)，山田(尚)，三輪(日車)，加藤(中日本C)，山田，野田(中日本ハイウェイ)，織田，加藤，松村，小野寺，所，家田，岩田，種岡，高地，日下部，菱川(瀧上)，佐光，古市(維持管理)，佐藤(片平)

以上47名(敬称略)

### 1. 定期研究会(16:00～17:30)

講演者：土木研究センター 企画・審査部 コンクリート研究室 室長 大田 孝二様

講演項目：【鋼道路橋床版(コンクリート系)の損傷とその対策課題】

#### 講演内容

講演：【鋼道路橋床版(コンクリート系)の損傷とその対策課題】：

鋼道路橋床版には昭和40年代より損傷がみられ、その損傷原因は研究対象として長く取り上げられてきている。その結果、損傷の原因もかなり判明してきており、過去の床版厚が薄かったことが原因の1つとして指摘されてきた。

最近では、損傷対策としてより厚い床版厚さでの設計がなされてきているが、比較的新しい橋梁にも以前と違った損傷形態も生じており、また、コンクリートの材料劣化(塩害・凍害・アル骨など)の影響による損傷も生じており、床版損傷・補修が未だ鋼橋損傷の大きな割合を占めていることも事実である。

本講演では、維持管理に係る鋼橋床版の調査結果として、アル骨による損傷形態について報告して頂き、床版損傷が単に床版のみの問題ではなく、鋼桁そのものにも影響を与えることを紹介された。

以上.

# 道路橋コンクリート系床版の 損傷とその対策課題

平成25年4月

(一財)土木研究センター  
大田孝二

# 本日の予定

- 第一部：鋼橋の床版（総論）  
過去・現在の床版損傷
- 第二部：アル骨による鋼橋床版の劣化損傷
- 第三部：或る橋梁の場合



本日の話題の前に・・・

① 鉄道橋には床版はない

スラブ軌道は？

③ 「床板」 でなく 「床版」

# 第 I 部 ; 総論

## 床版構造のおさらい

道路橋の構造によって決まっていた

- 1) 鋳鉄の橋 : 木材 (1779 ~、日本では明治時代に数例)
- 2) 錬鉄の橋 : 木材 (1800 ~ 1880 頃、日本は明治時代から)
- 3) 鋼の橋 (1880 頃 ~、日本では 1910 年頃 ~)
  - i) コンクリートが未発達 (間詰、形状確保)  
バックルプレートなどが使われた
  - ii) RC が登場 (道路橋は日本では 1910 年頃から)
  - iii) 多主桁橋梁 (1950 ~ 1990 頃)
  - iv) 少主桁橋梁 (1990 頃 ~)

# 本日の話題: RC床版損傷

## ii) RCが登場(1900頃～)

- 鋼橋技術は鉄道橋から(1910年ころまでは ほぼ鉄道橋のみ)
- 1930年位までは都市内道路橋(ex. 永代橋など路面電車含む)

## iii) 多主桁橋梁(1950～1990頃の建設)の課題 床版の損傷

- ① 薄くて損傷
- ② 厚くなっても損傷も
- ③ コンクリートの材料劣化も

## iv) 少主桁橋梁(1990頃～)(構造の変革が生じる) 床版の損傷は今のところ生じていない

- PC
- 合成床版

(知識)

## 日本の鉄道橋と道路橋

- 1) 1900年ぐらいまでは鉄道橋が中心  
ポーナル(Pownall:在日1882－1896)  
( 作30年式の鋼橋標準設計 )
- 2) 都市内の橋梁(市電、馬車、人力車など)  
日本の道路橋の建設1910以降?  
( 旧新大橋1912、四谷見附橋1913)  
  
Cf. T型フォードは1910年台  
Cf. ワシントン会議(軍備制限条約、1922)
- 3) 関東大震災(1923)後の橋梁  
永代橋、清洲橋、・・・

表-2.6.1 明治時代の鉄橋数 [岡崎, 2004]

\* 土木局第13回統計年報・第20回統計年報から作成

|      | 明治35. 12・31 |    |    |    | 明治37・3・10 |     |    | 明治45・4 |    |    |     |
|------|-------------|----|----|----|-----------|-----|----|--------|----|----|-----|
|      | 国道          | 県道 | 里道 | 計  | 架川橋       | 跨線橋 | 計  | 国道     | 県道 | 里道 | 計   |
| 北海道  |             |    |    |    | 2         |     | 2  |        |    |    |     |
| 青森県  |             |    |    |    |           |     |    |        | 1  |    | 1   |
| 千葉県  |             |    |    |    |           | 2   | 2  |        |    |    |     |
| 東京都  |             |    |    |    | 23        | 12  | 35 | 10     | 1  | 32 | 43  |
| 神奈川県 | 1           | 2  | 11 | 14 | 13        | 1   | 14 |        | 2  | 11 | 13  |
| 静岡県  |             |    | 1  | 1  |           | 1   | 1  |        |    |    |     |
| 山梨県  |             |    |    |    |           |     |    |        |    |    |     |
| 岐阜県  |             |    |    |    |           |     |    |        |    |    |     |
| 愛知県  |             |    | 2  | 2  |           | 2   | 2  |        | 3  |    | 3   |
| 三重県  |             |    |    |    |           |     |    |        |    |    |     |
| 滋賀県  |             |    |    |    | 2         |     | 2  |        | 2  | 2  | 4   |
| 奈良県  |             |    |    |    |           |     |    |        |    | 1  | 1   |
| 和歌山県 |             | 4  |    | 4  |           |     |    |        |    |    |     |
| 大阪府  | 3           | 8  | 5  | 16 | 14        | 2   | 16 | 4      | 6  |    | 10  |
| 京都府  |             |    |    |    |           | 1   | 1  |        | 3  |    | 3   |
| 兵庫県  | 1           | 1  |    | 2  | 1         | 1   | 2  | 2      | 1  | 2  | 5   |
| 岡山県  |             |    |    |    |           |     |    |        |    |    |     |
| 愛媛県  | 1           |    |    | 1  | 5         |     | 5  | 4      |    |    | 4   |
| 福岡県  |             |    |    |    | 1         |     | 1  | 2      |    |    | 2   |
| 佐賀県  |             |    |    |    |           |     |    |        |    |    |     |
| 長崎県  |             |    | 3  | 3  | 4         |     | 4  |        | 1  | 9  | 10  |
| 大分県  | 1           |    |    | 1  | 1         |     | 1  | 1      |    |    | 1   |
| 熊本県  |             | 1  |    | 1  | 1         |     | 1  |        | 1  |    | 1   |
| 宮崎県  |             |    |    |    |           |     |    |        |    |    |     |
| 鹿児島県 |             |    |    |    | 1         |     | 1  | 1      |    | 1  | 2   |
| 沖縄県  |             |    |    |    |           |     |    |        |    |    |     |
| 合計   | 9           | 18 | 22 | 49 | 74        | 22  | 96 | 31     | 24 | 59 | 114 |

# 大正期の造船

| 国内建造量   |      |         | 輸入船 |        | 合計   |         |
|---------|------|---------|-----|--------|------|---------|
|         | 隻数   | トン数     | 隻数  | トン数    | 隻数   | トン数     |
| • 1912, | 170, | 43,013  | 24, | 49,019 | 194, | 92,032  |
| • 1913, | 112, | 54,950  | 27, | 55,120 | 139, | 110,070 |
| • 1914, | 85,  | 58,846  | 13, | 32,181 | 98,  | 91,027  |
| • 1915, | 73,  | 78,918  | 11, | 25,081 | 84,  | 103,999 |
| • 1916, | 93,  | 138,011 | 11, | 32,065 | 104, | 170,076 |
| • 1917, | 196, | 226,843 | 13, | 7,280  | 209, | 234,123 |
| • 1918, | 516, | 598,691 | 20, | 3,632  | 536, | 602,323 |
| • 1919, | 323, | 636,271 | 15, | 947    | 338, | 637,218 |
| • 1920, | 229, | 486,948 | 6,  | 544    | 235, | 487,492 |
| • 1921, | 132, | 216,840 | 4,  | 2,883  | 136, | 219,723 |

(海事摘要 逋信省管船局)

- 1922 ワシントン会議(軍備制限条約) → 船から橋梁へ

# 少主桁構造

(未だ全く損傷していないと言える→紹介のみ)

欧米、とくに仏の技術の導入:

多主桁 → 少主桁構造(日本1990?)

- 理由
- ① 鋼構造の経済化  
(バブル人件費の高騰)
  - ② 床版支間の増大化  
(6m、10mなど)

# 多主桁と少数主桁(1)

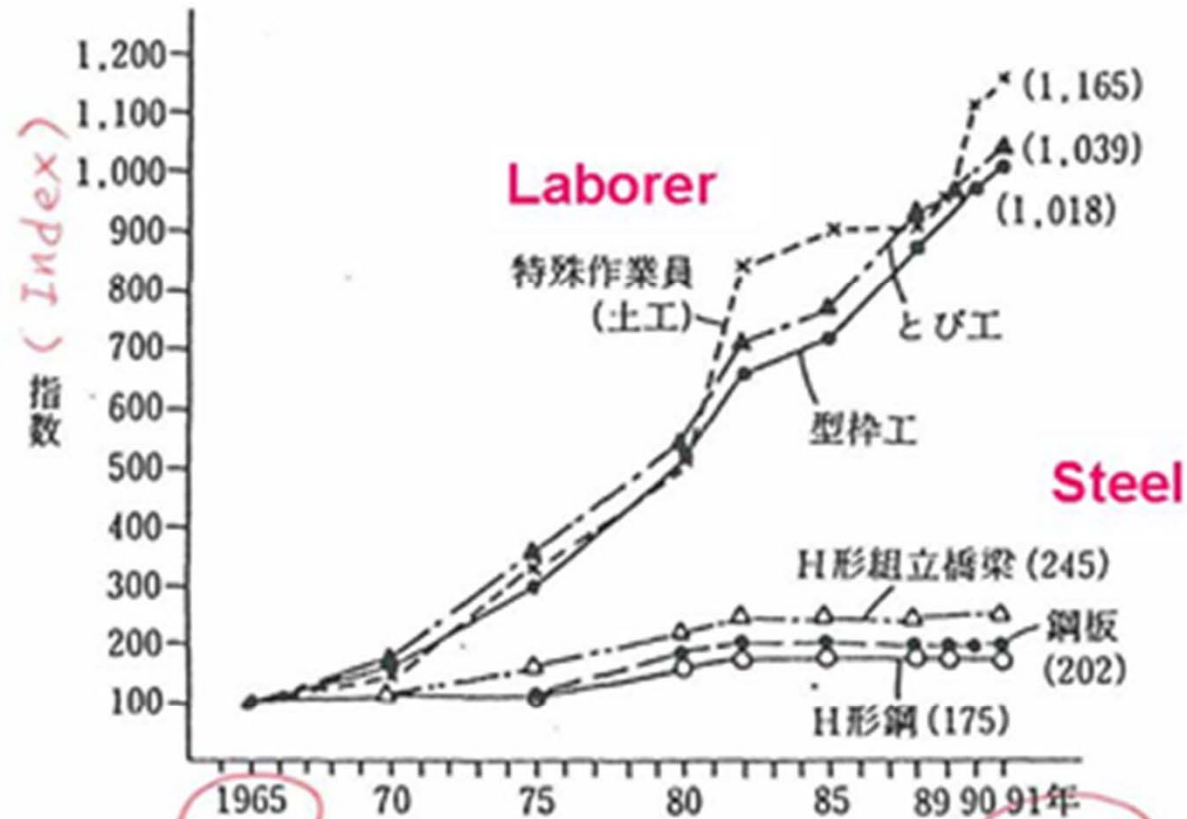


図-1 労力費と鋼材価格の推移

Laborer Cost and Steel Cost



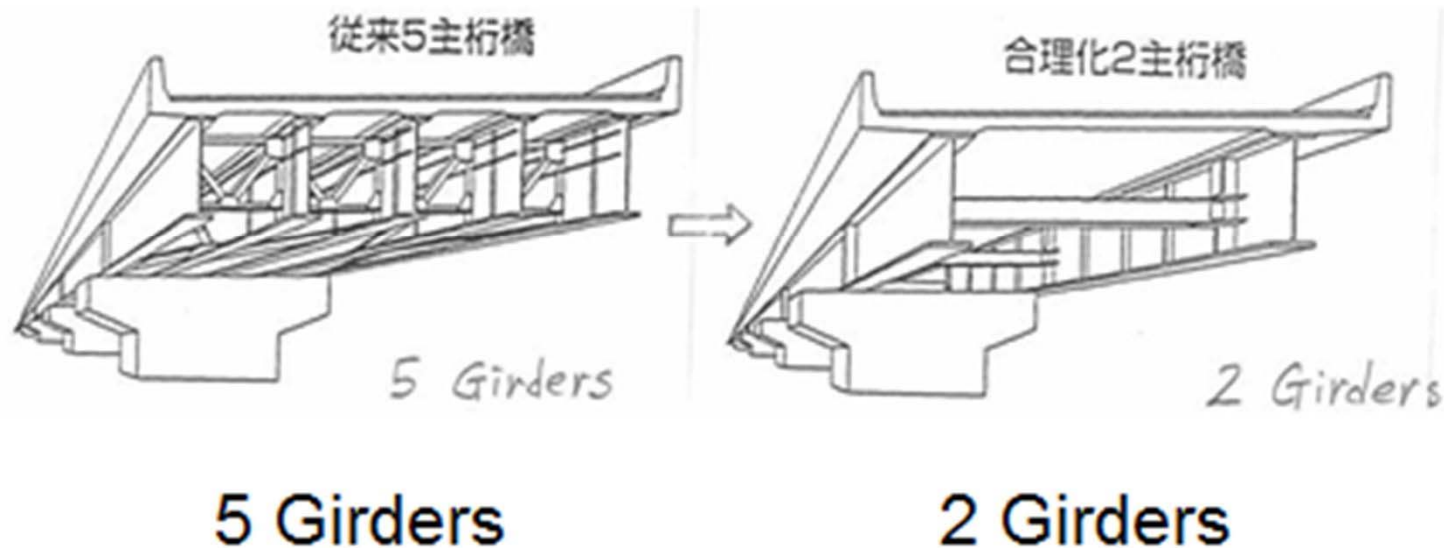
(寄り道)

## 多主桁と少主桁(2)

1995～

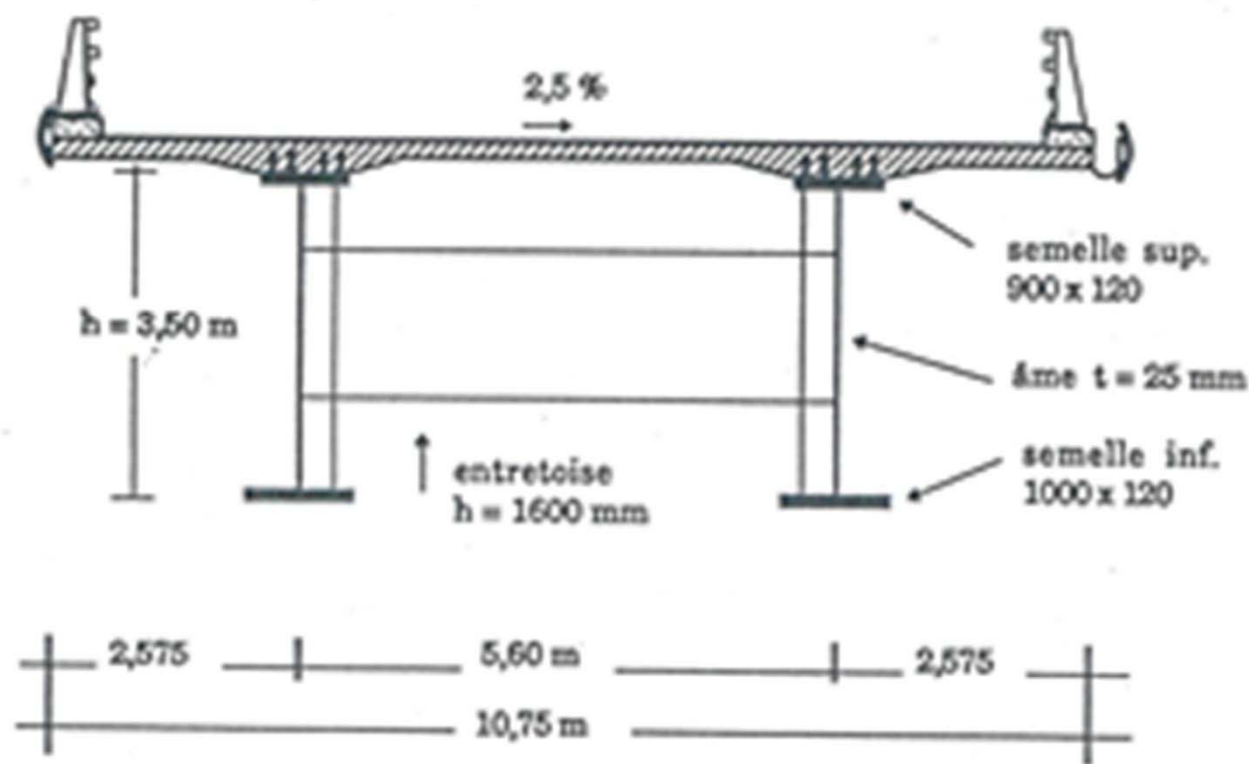
### (1) Twin Girder System ( Girder with LP Plates )

- Slabs supported by main girders



# gnon 高架橋 *Lignon Viaduct*

Au droit des piles les poutres principales sont reliées par une entretoise de 1,6 m de hauteur.



Coupe transversale sur piles

# PCプレキャスト床版





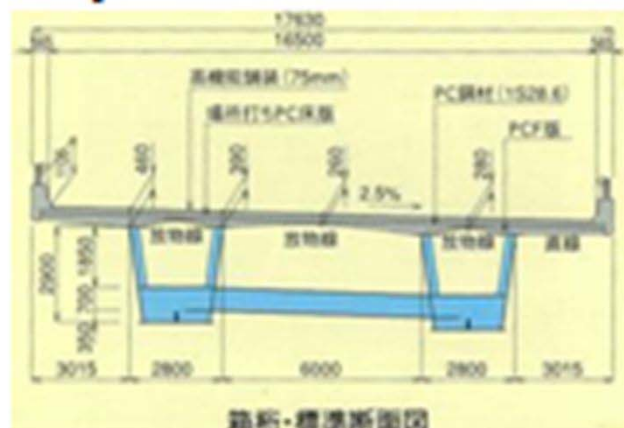
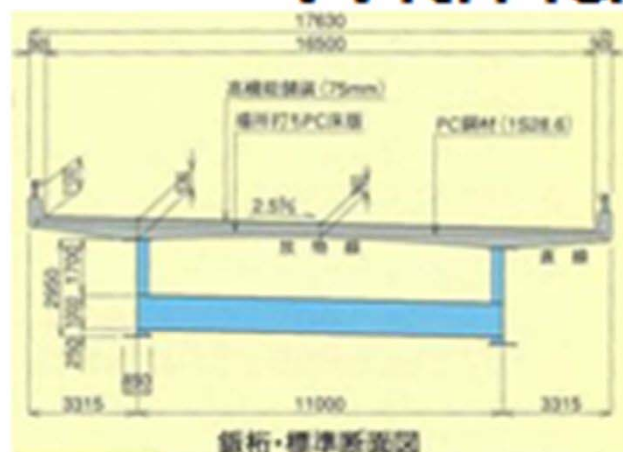
## 床版の施工3 PC現場打ち床版



ホロナイ川橋梁(1995)

川田工業HPより

## (2) Small 2-Box girder System With large spanned slabs



Warashina-gawa Br. ( Experiment )



# 合成床板





## 床版の施工4

# 合成床板



さて、ここからが本論です。

## 床版の損傷の原因



## 床版の損傷の原因

39年床版（道示1964.6）は、支間2～4mで、

1) 床版厚さ： **きわめて薄い！**

車道の床版の最小厚 17 条

車道の鉄筋コンクリート床版の最小有効厚さは 11 cm とする。

### 〔解説〕

鉄筋コンクリート床版は、あまり薄いと完全な施工を期し難く、また施工上の欠点の影響が大きいので、最小有効厚さを規定した。最小有効厚さが 11 cm であるから、これに鉄筋のカブリを 2.5 cm、鉄筋直径を 13 mm とすると最小全厚は約 14 cm となる。

# 最低床版厚規定の歴史

- S39道示： 床版厚 → 14cm
- S48道示： 16cmを下回ってはならない
- S54通達、S55道示（現在も）（18cm以上？）

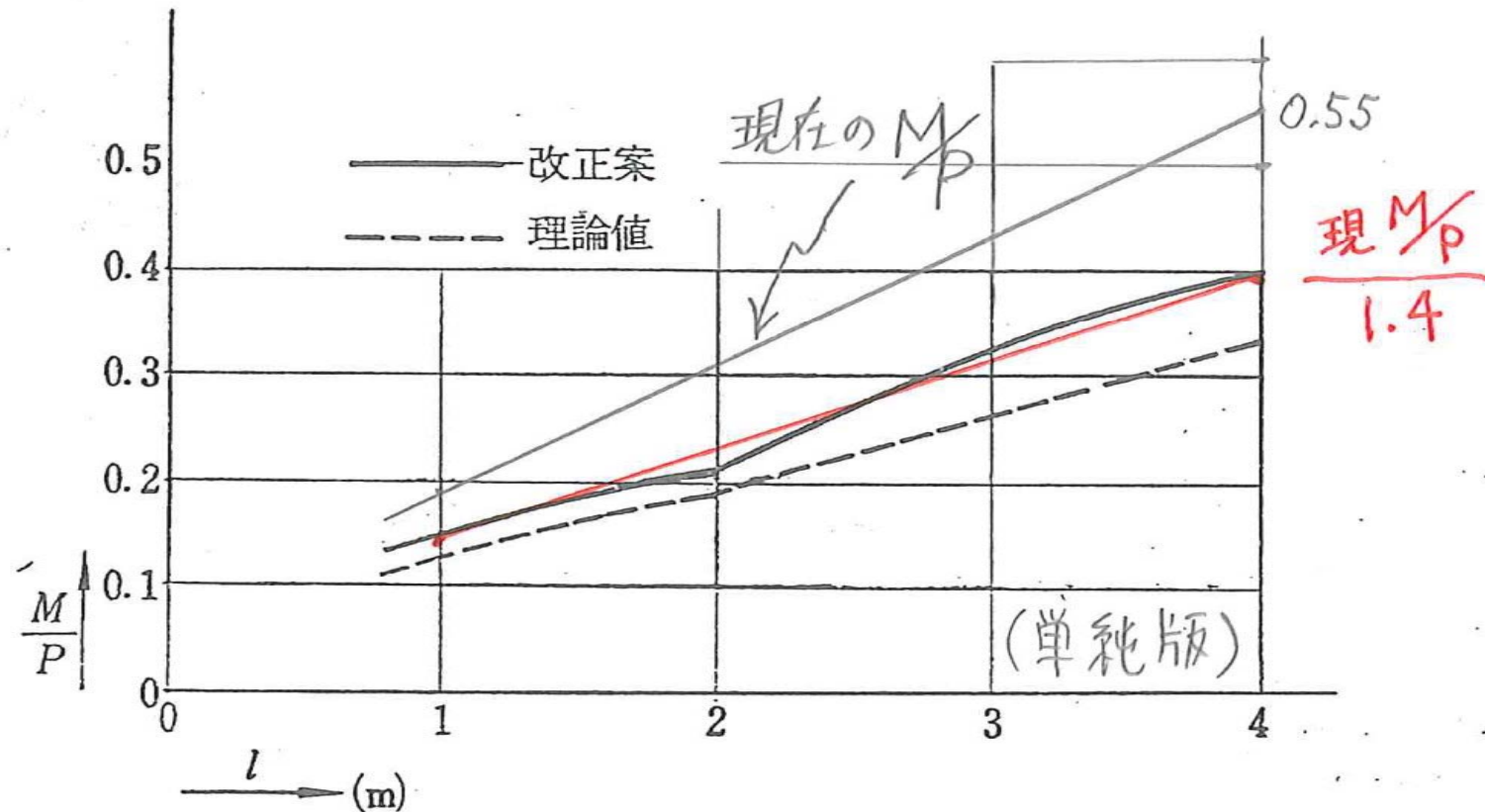
$$d = k_1 \cdot k_2 \cdot d_0$$

$k_1$ 、 $k_2$ ；交通量、合成・非合成等で割増

# 床版の曲げモーメント

539年道示の床版設計M

図-19・3



- 曲げモーメントそのものは不変(不等沈下で割増)

# S40年代の設計施工上の問題点

## 1. 設計上

- 桁の経済設計、高強度鋼材  
（桁のたわみ大）
- 床版の鉄筋、コンクリの限界での設計
- 配力筋の不足
- 桁の不等沈下への無配慮

## 2. 施工上

- 大量の橋梁建設
- 川砂利の枯渇 → 碎石・海砂の使用
- 慣れないポンプ打設、バイブレータ施工

## 3. その他

- 過積載車両・交通量大

# 床版の従来損傷（舗装も）





# 損傷状況の変化、土砂化



# ’ 70～80年床版の抜落ち事故の頻発

鉄筋が切れずに、コンクリート片が抜け落ちる  
損傷形態



# 床版設計の改訂

## 床版の破損事故対策:

床版通達S54(1978)(設計便覧付録便覧、道示S55年)

- ①多主桁構造は床版支間  $4\text{m} \rightarrow 3\text{m}$ 以下
- ②鉄筋の許容応力:  $1800\text{kgf/cm}^2 \rightarrow 1400 \rightarrow 1200$ 程度(H8)
- ③交通量等による床版厚割増( $d = k_1 \cdot k_2 \cdot d_0$ )など

# 最近の床版課題

1. 従来型損傷(すり磨き→抜落ち)

2. 損傷状況の変化

床版厚さ増に伴う現象？

3. 材料の劣化と輪荷重の複合損傷

塩害など

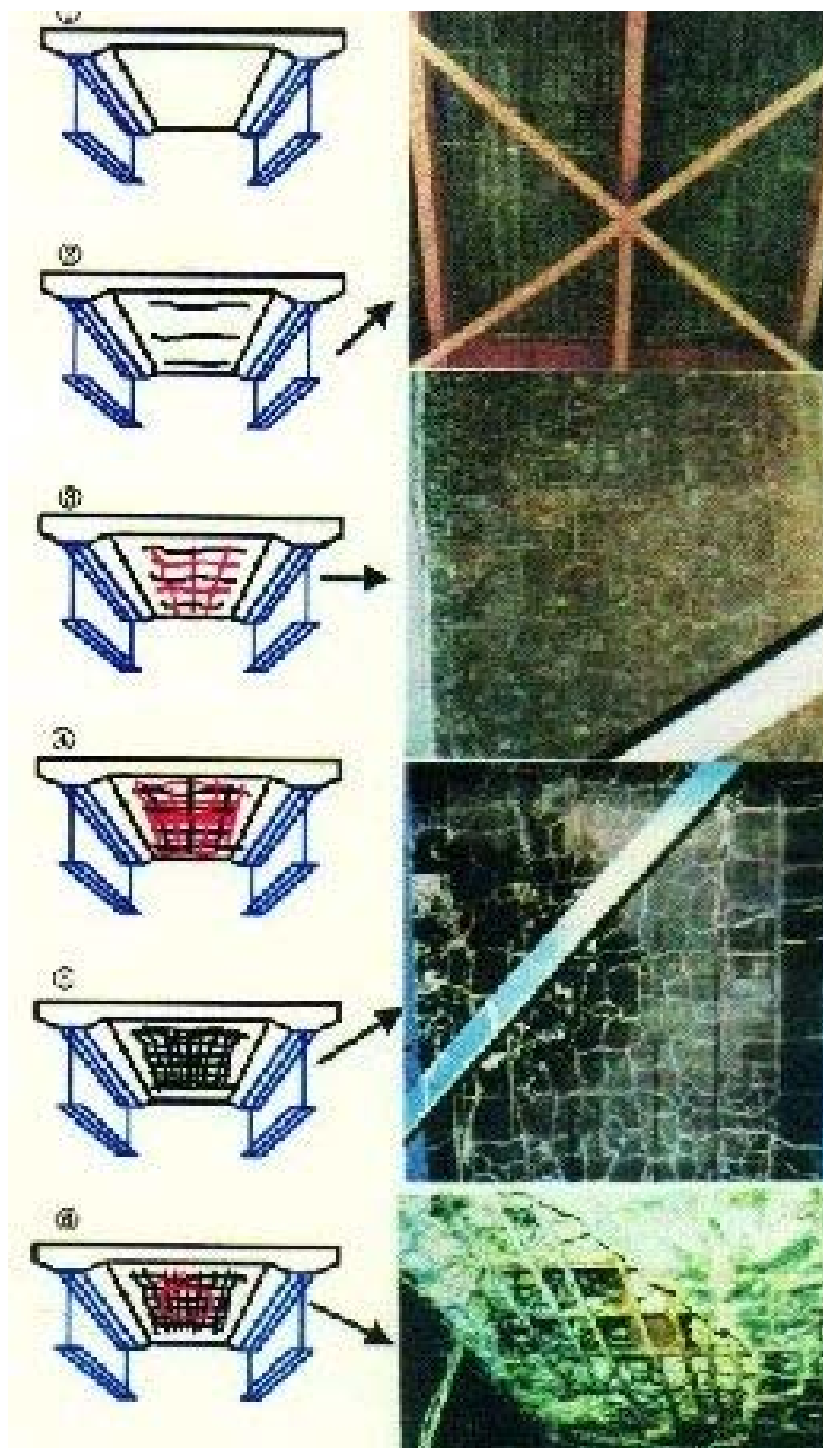
4. 防水の増々の重要性

順次 紹介(1～4)しましょう

# 従来型損傷：RC床版の損傷メカニズム

- ① 乾燥収縮による橋軸直角方向ひび割れ
- ② 通行荷重によるひび割れの進展（梁状化）
- ③ 梁には曲げひび割れ（橋軸方向）  
→格子状ひび割れ
- ④ すり磨きによるひび割れの進展  
→ブロック状に落下

# 従来型損傷





# 床版厚が大きくなってからの損傷 (今後の課題)

- ①床版上面の水平ひび割れ
- ②融雪材による塩害（上側鉄筋の錆）
- ③材料劣化（凍害、アル骨など）

# 水平ひび割れ(上側鉄筋位置に多い)





## 紹介2 上鉄筋に沿うひび割れ





# 上側鉄筋の被り剥落









# 損傷状況の変化、土砂化





# 塩害





# 融雪材、溶けた水のための溝





# 塩水は床版内部へ





# 水平ひび割れ(増厚補強)(鈹子)







## 寒冷地で凍結融解損傷

塩害、アル骨、凍結融解　すべて、

水に敏感な材料劣化現象

さらに

輪荷重による床版疲労も水の影響大

→ 防水層の役割の増大

水張り実験では2ケタ(100倍)の損傷進行の差

## 松井先生の試験結果(1987)

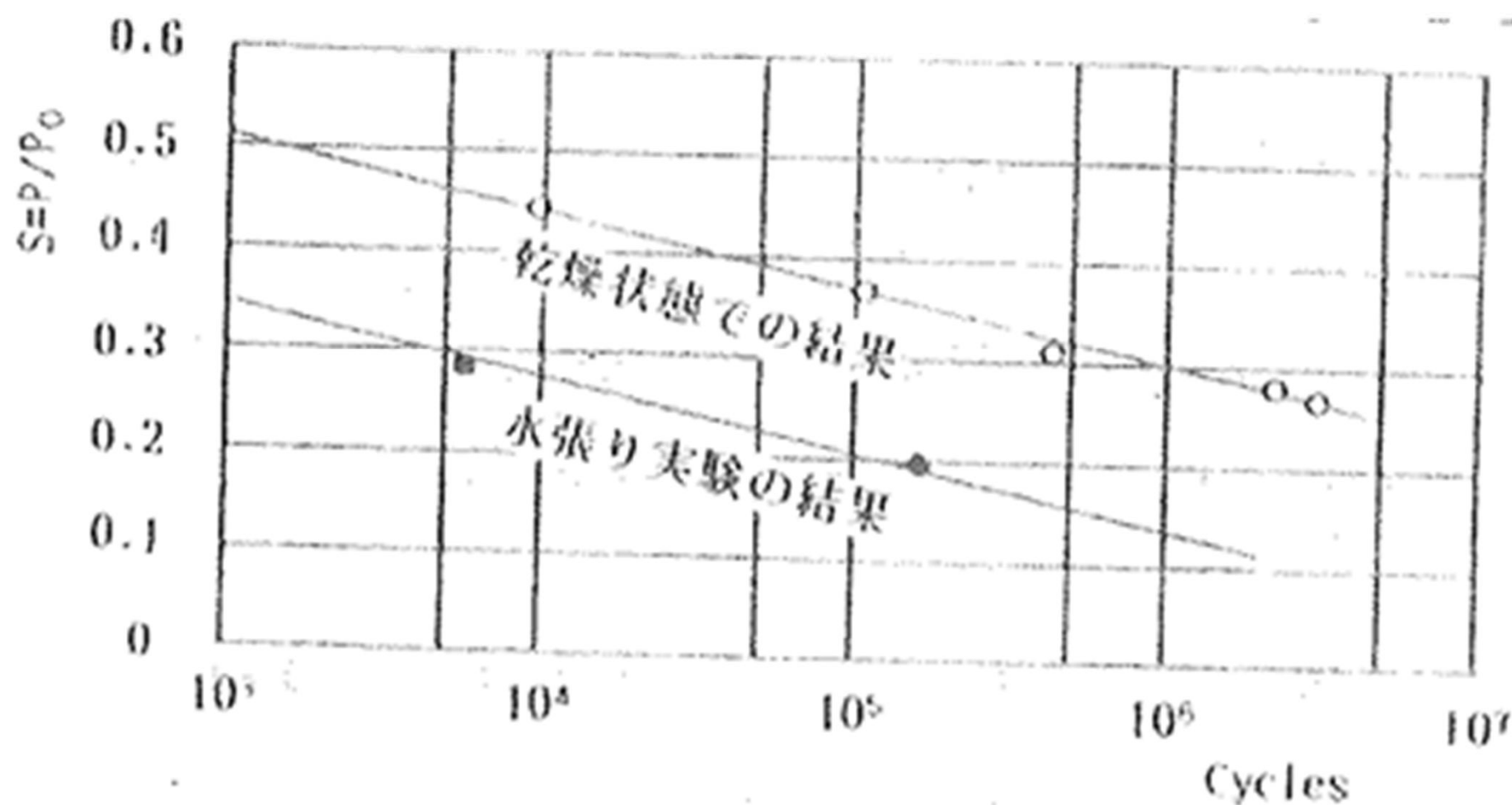


図-6 水張り実験のS-N結果。



第一部

END

# アルカリ骨材反応と床版劣化

2013年2月  
土木研究センター

# 土木研究センターの取組み

## (コンクリート研究室)

- ・ 研究室は、少人数(精鋭主義)
- ・ 研究の深さが期待できる対象
- ・ 研究テーマは最新の課題で広がりのあるもの



研究の対象として

## アルカリ骨材反応によって損傷した床版

- ・ アル骨は全日本的問題
- ・ 鋼橋の補修の半分以上が床版の損傷
- ・ 膨張は収束しても床版損傷は継続劣化



# アルカリ骨材反応とは

## ①反応性の骨材

ある種のシリカは強アルカリ下でゲルを発生  
骨材表面に析出させる

## ②ゲルが水を吸収して膨張

## ③コンクリートにひび割れ、劣化をもたらす。





# アル骨 (ASR)は擁壁に多く見られる





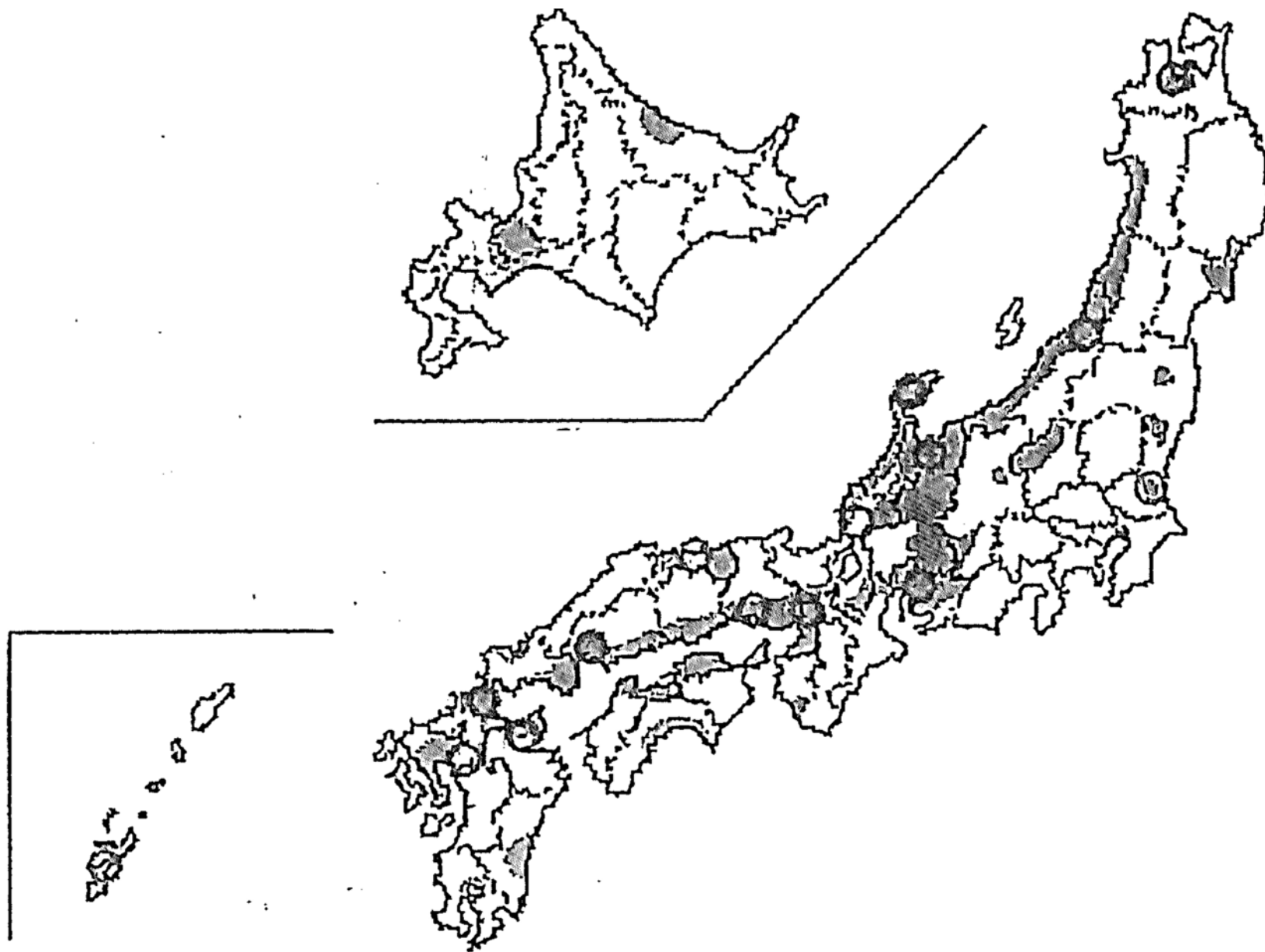


図 1 わが国の ASR 発生地域のマップ (○印は鉄筋破断が発見された地域)

# アル骨の反応リム



# 道路橋床版の 維持管理マニュアル



2012 年 6 月

公益社団法人 土木学会

## 道路橋床版の 維持管理マニュアル

土木学会 2012.6



## 第3章 道路橋床版の劣化進行過程の評価

### 3.1 道路橋床版の劣化要因と劣化進行過程

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 3.1.1 輪荷重による疲労 .....  | 80 |
| 3.1.2 塩 害 .....       | 84 |
| 3.1.3 凍 害 .....       | 88 |
| 3.1.4 中性化 .....       | 90 |
| 3.1.5 アルカリシリカ反応 ..... | 92 |
| 3.1.6 初期欠陥 .....      | 95 |
| 3.1.7 複合劣化 .....      | 97 |

# 向東洞橋の床版調査

アル骨現象で損傷した床版の例

(鋼板接着工法で補修)

- ・鋼板によって滞水







# アル骨床版の劣化兆候

1. 水を含みやすい  
(コンクリートは黒っぽく見える)
2. 乾いたら、白華？(白い粉吹き)
3. 輪荷重のみでの損傷は床版支間中央に集中。しかし、アル骨の場合は、ハンチや地覆にも損傷。
4. 鋼板接着補修の場合は、滞水でひび割れ促進の効果も。



















# 研究テーマの課題

アル骨の兆候床版に輪荷重が作用

- 1) あと、どのくらい耐久性があるか？
- 2) どのような損傷形態が出てくれば危険か？



実験での確認を予定(2013年度)

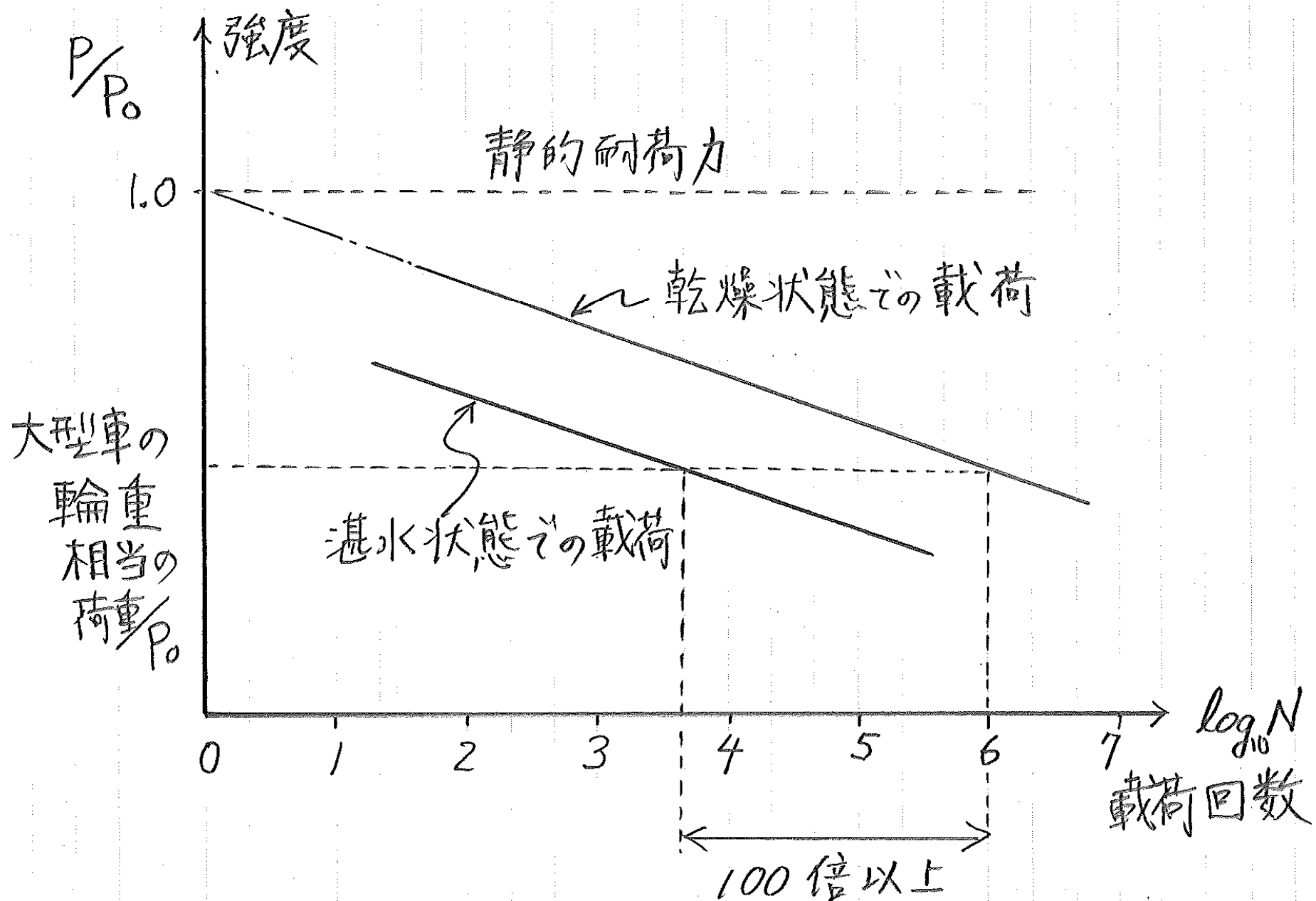
(アル骨損傷を促進させた床版で輪荷重走行実験)

表-2 輪荷重走行試験の種類

| 試験<br>No. | 輪荷重走行試験開<br>始時の劣化状況                      | 輪荷重走行試<br>験時 RC 床版上<br>面の状態 | 供試体の位置付け                                                                                                           |
|-----------|------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I         | 比較的健全                                    | 気乾状態                        | ASR 劣化に比較的健全な基準供試体⇒<br>ASR 劣化進行状況が疲労終局状態に及ぼ<br>す影響を検討 (No. II との比較).                                               |
| II        | ASR 進展期<br>(RC 床版上面の<br>ひび割れ発生)          | 気乾状態                        | ASR 進展期に気乾で輪荷重走行試験を開<br>始⇒防水工による ASR 劣化の抑止効果を<br>検証 (No. IV との比較). ASR 劣化進行状<br>況が疲労終局状態に及ぼす影響を検討<br>(No. I との比較). |
| III       | ASR 進展期<br>(RC 床版上面の<br>ひび割れ発生) +<br>疲労  | 気乾状態                        | 補修材を施工し, 気乾で輪荷重走行試験を<br>行う⇒補修効果を確認 (No. I, II との比<br>較)                                                            |
| IV        | ASR 進展期<br>(RC 床版上面の<br>ひび割れ発生)          | 真水で湛水                       | ASR 劣化進展期に真水で湛水状態とし,<br>輪荷重走行試験を開始⇒実橋損傷を再現<br>(No. II との比較)                                                        |
| V         | ASR 加速期<br>(RC 床版上面の<br>ひび割れと錆び汁<br>の発生) | 真水で湛水                       | ASR 劣化加速期に真水で湛水状態とし,<br>輪荷重走行試験を開始⇒ASR 劣化進行状<br>況が疲労終局状態に及ぼす影響を検討<br>(No. IV との比較)                                 |



# RC床版における水の影響



# 松井先生の試験結果(1987)

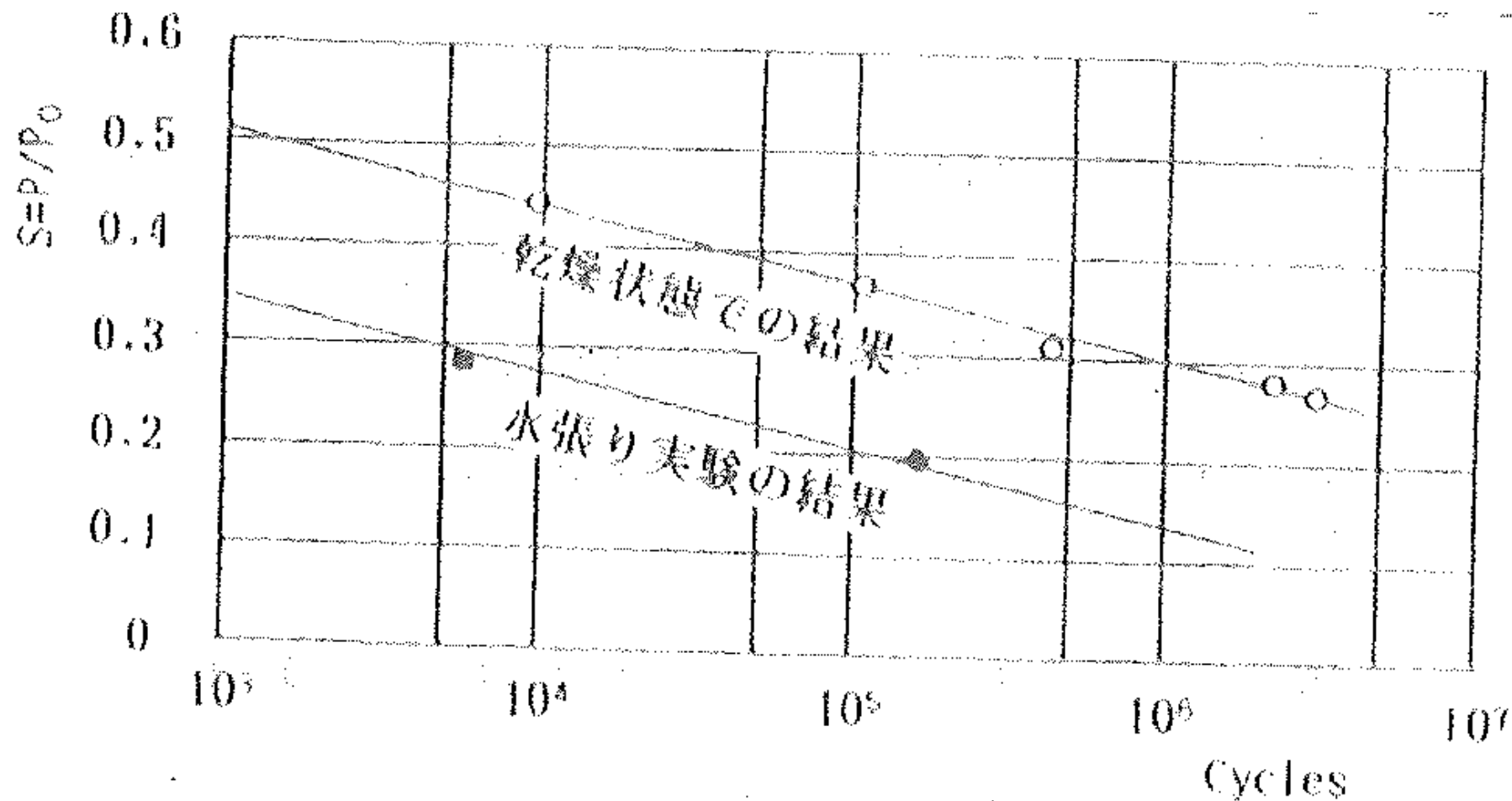


図-6 水張り実験のS-N結果。

# 輪荷重を受ける床版の研究概要

## 過去の床版研究の概要

1. 損傷の進行過程（抜け落ちで最終）
2. 確認された重要事項
  - ①水の影響がきわめて大きい
  - ②床版厚さは耐久性に大きく寄与

厚くなった結果として、**従来と違う損傷形態**が出現



# RC床版の疲労損傷

舗装の損傷にも注目



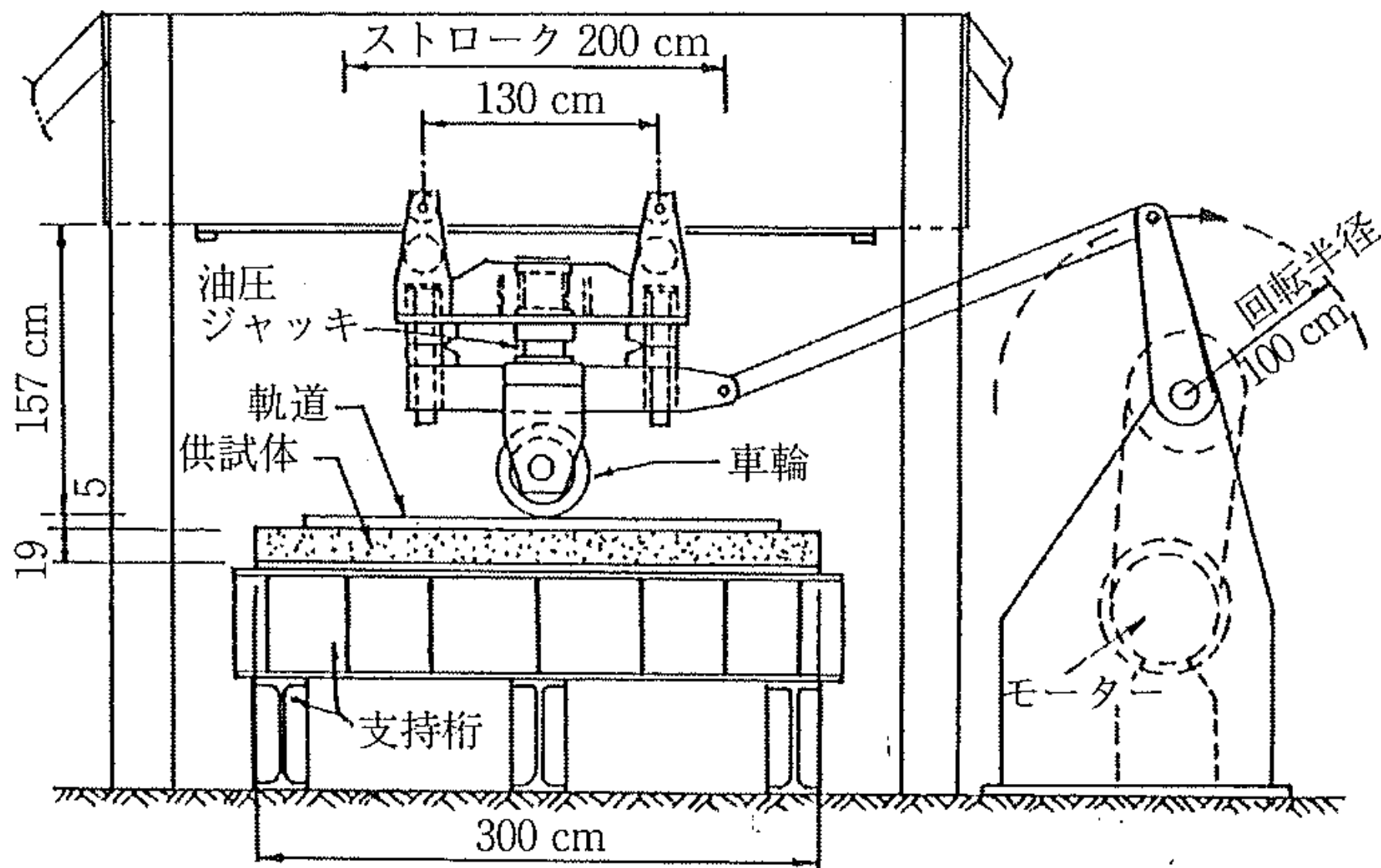


図 2.6 輪荷重走行試験機の構造概要





# 松井理論

梁状化→ 線から面→ 亀甲状→すりみがき→陥没

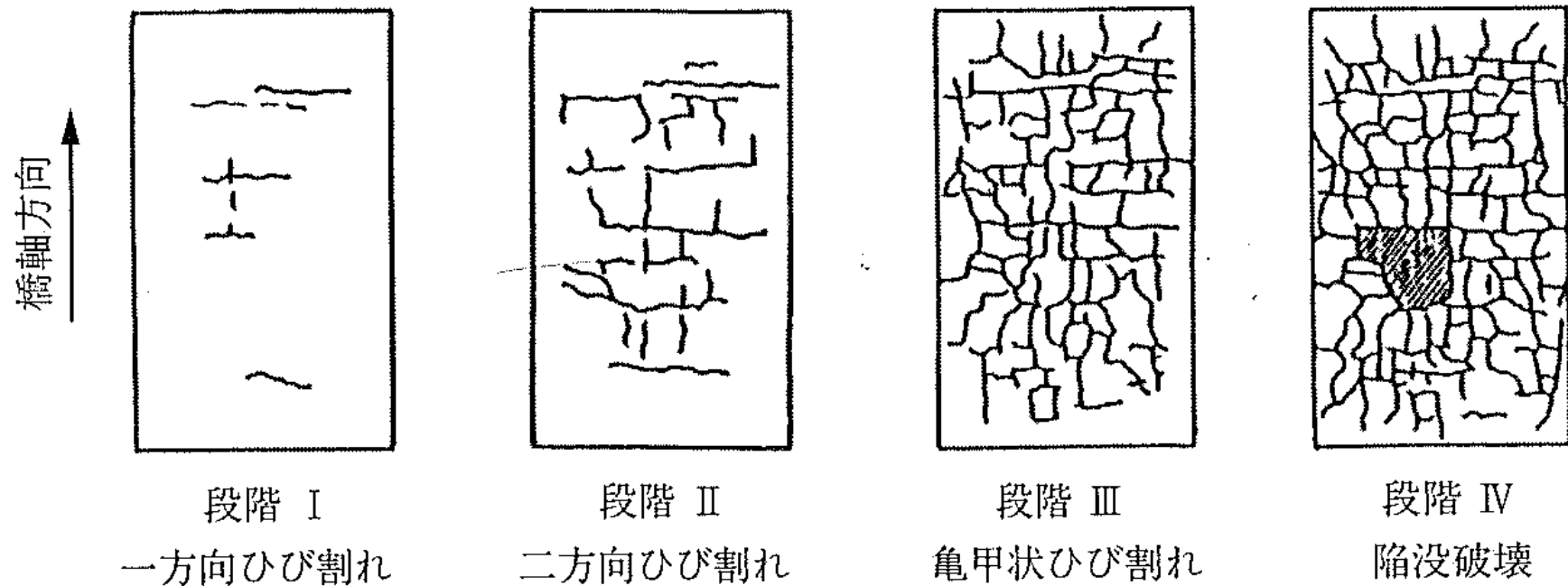
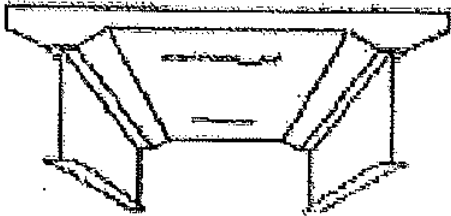
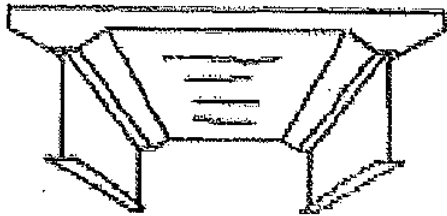
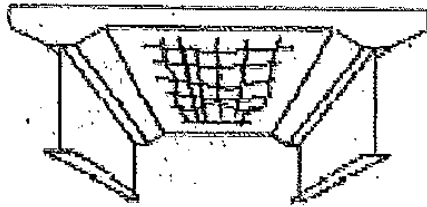
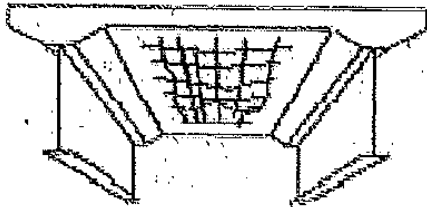


図 2.1 道路橋 RC 床版のひび割れ損傷過程

|                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|
| ひび割れ間隔<br>に着目した程度                                                                   |
|    |
|    |
|  |

|                                                                                     |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------|
|  | 加速期     |
|  | 加速期～劣化期 |

国土交通省国道防災課  
橋梁定期点検要領(H16.4)

# 最低床版厚の変遷

1. S39 溶接鋼道示:最少有効厚さ 11cm  
被り2.5cm、鉄筋13mmなら14cm全厚
2. S48 鋼道路橋道示:最少全厚 16cm  
被り3cm
3. S53.4 通達.  
大型車の混入率、桁の剛性差、補修難易、  
合成と非合成で厚さを変える  
(結果、一般交通量で2割ほど厚く,最低で19~20cmとなっている)

主桁間隔も4m maxから少主桁構造でさらに大支間(6m超え)  
→→ さらに床版全圧は厚くなり、25~26cmに。



# RC床版の損傷形態の変化

床版厚さが大きくなると、

1. 貫通ひび割れは入りにくくなり、仮に貫通ひび割れが入っても、すりみがきが起こりにくくなり、床版の抜け落ちは生じない
2. 新たな損傷形態として、水平ひび割れ、が注目されている。









# 沖縄、取り換えられた床版の展示





# アル骨床板の水平ひび割れ



# 今後の道路床版の維持管理

- 1) 床版厚が厚くなり、疲労**耐久性は増**した
- 2) 損傷の**形態にも変化**（抜落ち→水平ひび割れ）
- 3) 疲労耐久性が増したため、**材料劣化**との**複合劣化**も

結果として

**床版の診断、補修はますます複雑に！**



# アル骨床板の研究

- 実験の予定: 2013年春から秋
- 実態床版の調査: 1橋(底鋼板付き)  
下側に滞水層
- 実験と実態との比較等(解析の活用)で、
  - ①残存耐荷力(残存寿命や診断方法)
  - ②補修時期
  - ③水による影響
  - ④補修方法やその効果等を明らかにしていきたい。

表-2 輪荷重走行試験の種類

| 試験<br>No. | 輪荷重走行試験開<br>始時の劣化状況                      | 輪荷重走行試<br>験時 RC 床版上<br>面の状態 | 供試体の位置付け                                                                                                          |
|-----------|------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I         | 比較的健全                                    | 気乾状態                        | ASR 劣化に比較的健全な基準供試体⇒<br>ASR 劣化進行状況が疲労終局状態に及ぼ<br>す影響を検討 (No. II との比較)。                                              |
| II        | ASR 進展期<br>(RC 床版上面の<br>ひび割れ発生)          | 気乾状態                        | ASR 進展期に気乾で輪荷重走行試験を開<br>始⇒防水工による ASR 劣化の抑止効果を<br>検証 (No. IV との比較)。ASR 劣化進行状<br>況が疲労終局状態に及ぼす影響を検討<br>(No. I との比較)。 |
| III       | ASR 進展期<br>(RC 床版上面の<br>ひび割れ発生) +<br>疲労  | 気乾状態                        | 補修材を施工し、気乾で輪荷重走行試験を<br>行う⇒補修効果を確認 (No. I, II との比<br>較)                                                            |
| IV        | ASR 進展期<br>(RC 床版上面の<br>ひび割れ発生)          | 真水で湛水                       | ASR 劣化進展期に真水で湛水状態とし、<br>輪荷重走行試験を開始⇒実橋損傷を再現<br>(No. II との比較)                                                       |
| V         | ASR 加速期<br>(RC 床版上面の<br>ひび割れと錆び汁<br>の発生) | 真水で湛水                       | ASR 劣化加速期に真水で湛水状態とし、<br>輪荷重走行試験を開始⇒ASR 劣化進行状<br>況が疲労終局状態に及ぼす影響を検討<br>(No. IV との比較)                                |

**END**