

# 「舗装材料の特性と評価」 に関する報告会

2024.6.6

## プログラム（14:00～17:00）

14:00 開会挨拶および活動の総括

- ・委員長 関根 悦夫（HRC研究所）

14:10 アスファルト混合物分科会

- ・分科会の総括：丸山 記美雄（土木研究所 寒地土木研究所）
- ・橋面舗装材料と評価：久利 良夫（近畿大学 非常勤講師）

15:10 休憩

15:20 路床・路盤分科会

- ・分科会の総括：川端 伸一郎（北海道科学大学）
- ・一斉試験の概要とCBRのばらつきに関する検討：川端 伸一郎（北海道科学大学）
- ・CBRと弾性係数の関係式に関する検討：池田 茜（日本道路）
- ・小型FWD一斉試験によるK値のばらつきに関する検討：木幡 行宏（室蘭工業大学）

16:30 リサイクル材料分科会

- ・分科会の総括：佐藤 研一（福岡大学）

16:50 今後の活動方針

- ・幹事 川端 伸一郎（北海道科学大学）

# 「舗装材料の特性と評価」 に関する報告会

2024.6.6

舗装材料小委員会 委員長  
関根 悦夫 (株)HRC研究所

## ◆舗装を構成する材料

アスファルト，セメント，砂，碎石等  
舗装の要求性能や施工法に応じて選定

## ◆材料特性の評価

合理的な設計・施工・維持管理を行う上で重要  
性能照査型設計法

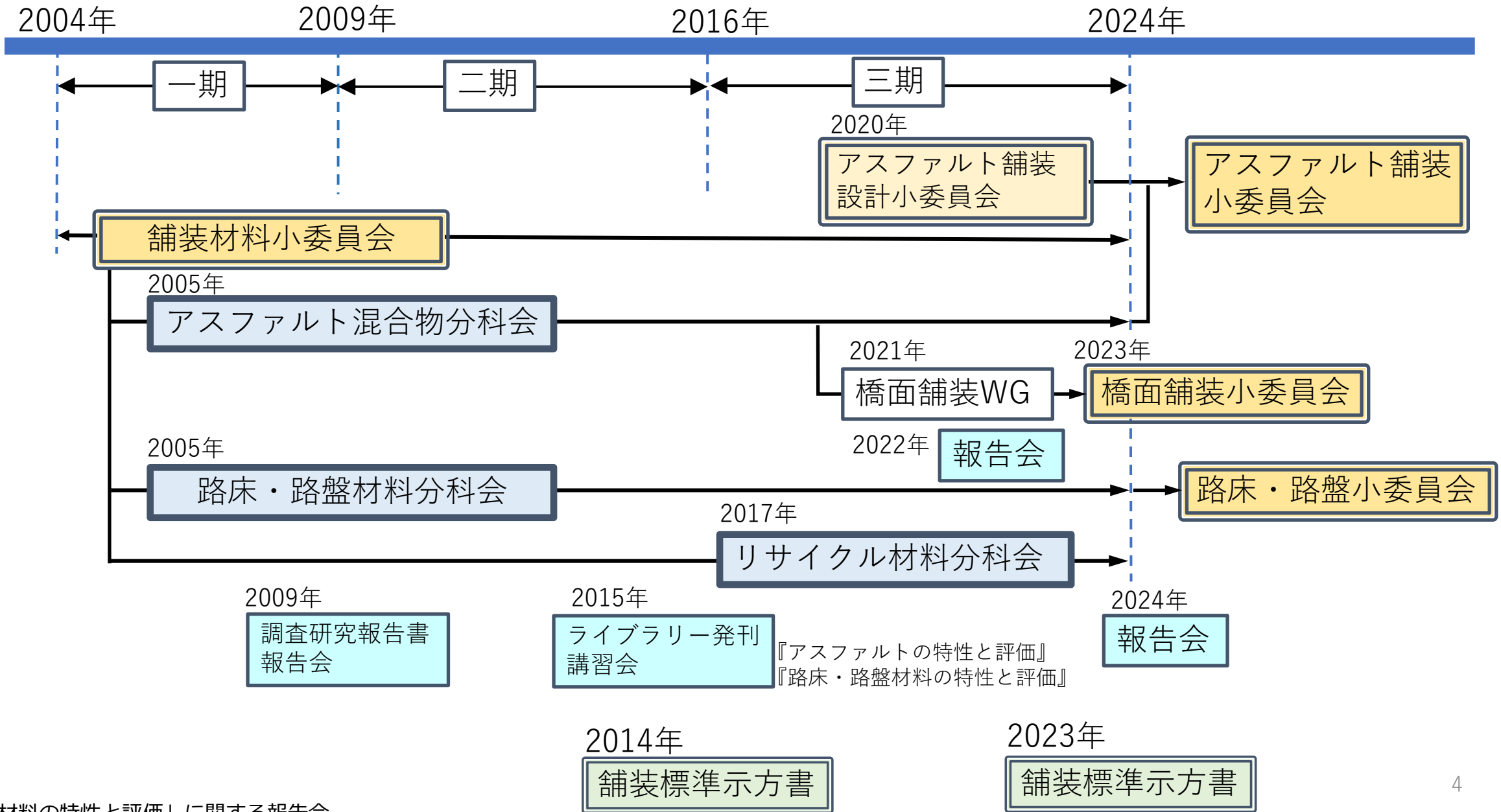


## ◆活動

より経済的・合理的な舗装の設計・施工，維持管理に資するための  
舗装材料の合理的かつ高度な評価方法の調査研究

## ◆分科会

- ・ アスファルト混合物分科会：丸山分科会長（寒地土木研究所）
- ・ 路床・路盤材料分科会：川端分科会長（北海道科学大学）
- ・ リサイクル材料分科会：佐藤分科会長（福岡大学）



# 「舗装材料の特性と評価」に関する報告会

## アスファルト混合物分科会の総括

2024.6.6

アスファルト混合物分科会 丸山記美雄

## ◆ 活動期間(2018年～2024年)

第1回：2018年 2月

第2回：2018年 6月

第3回：2019年 3月

第4回：2019年 6月

第5回：2020年 1月

第6回：2020年11月

第7回：2021年 4月

第8回：2022年 2月

第9回：2024年 2月

## ◆ 委員構成

産学官より18名

## ◆ 主な活動項目

- ① As混合物に関する話題提供と意見交換
- ② 水が介在することで生じる舗装の諸問題とその評価法
- ③ 舗装標準示方書改訂
- ④ 橋面舗装WG



## ① As混合物に関する話題提供と意見交換

As混合物に関するパフォーマンス評価試験、はく離、各種改質As、改質グース、表面縦ひび割れ、凍結融解作用の影響、副産物利活用、橋面舗装などの技術情報を報告し合い、情報を蓄積。

## ② 水が介在することで生じる舗装の諸問題とその評価法

水が介在することで生じる諸問題（材料境界でのはく離、層間接着の悪化、層間せん断、ポットホール、骨材飛散、耐水性、橋面舗装の防水遮水、メカニズム、評価方法など）に関して資料を作成することを目指し、情報収集や情報紹介などの活動を実施。

## ③ 舗装標準示方書改訂

As混合物分科会でAs混合物の材料と設計用値の見直し部分の原稿案を執筆。

旧版

### I-3.2.2 変形特性

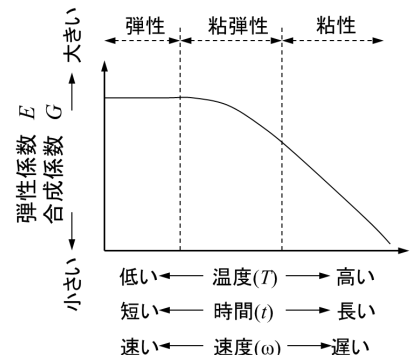
アスファルト混合物の変形特性を表す設計用値には弾性係数とスティフネスがあり、室内試験などにより求めた適切な値を用いなければならない。

改訂版

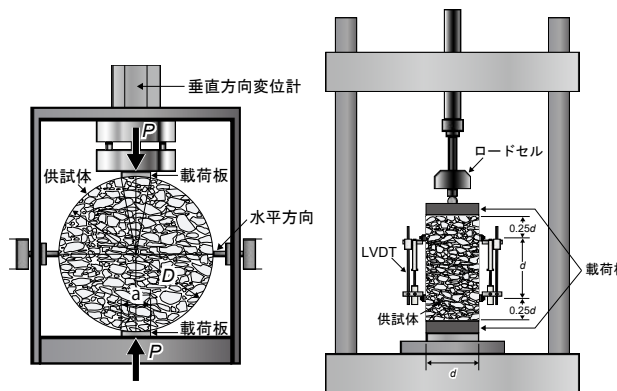
### II-2.7.2.2 変形特性

アスファルト混合物の変形特性を表す設計値には弾性係数とスティフネスがあり、室内試験などにより求めた適切な値を用いなければならない。

・解説にて、弾性係数およびスティフネスをレジリエントモデュラス試験により求めるものとする旨を記述。



As混合物の温度依存性と時間(速度)依存性



室内試験の例  
(左:レジリエントモデュラス試験、  
右:動的モデュラス試験)

旧版

### I-3.2.3 疲労曲線

アスファルト混合物層の疲労解析に用いるアスファルト混合物の疲労曲線は、アスファルト混合物の種類、使用条件等を考慮して定めるものとする。

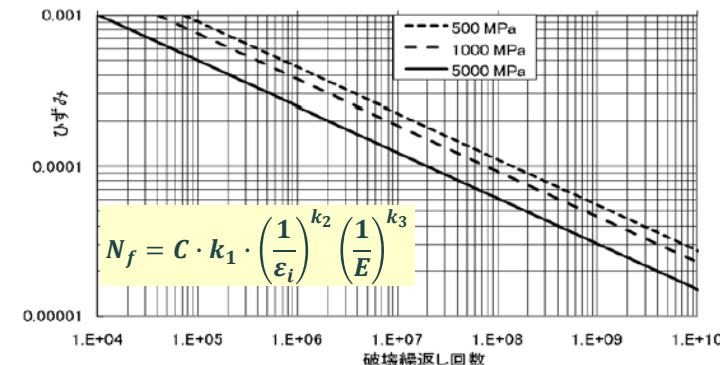
改訂版

### II-2.7.2.3 疲労曲線

アスファルト混合物の疲労曲線は、室内試験などにより適切に定めなければならない。



室内試験の例(4点曲げ疲労試験)



疲労曲線の設定例

## ④ 橋面舗装WG

橋面舗装を体系的に取りまとめた成果は1996年に出版された「橋面舗装の設計と施工」以降なく、その後に実施された個別研究の成果もまとめられていない状況であった。橋面舗装技術や課題、解決方法を体系的に取りまとめることは価値のあることであり、現状の橋面舗装材料やその課題についての整理・研究を行うWGを設立し活動する。



- ・ As混合物分科会内に橋面舗装WGを2021年5月に立ち上げ
- ・ 久利WG長の下、委員9名により計11回のWGを開催し、橋面舗装の材料に関する知見をまとめた資料を作成。
- ・ 「橋面舗装に使用する材料と評価に関する報告会」を2022年9月に開催。



2023年より橋面舗装小委員会に発展。

# 「舗装材料の特性と評価」に関する報告会

## 橋面舗装材料と評価

2024.6.6

アスファルト混合物分科会 久利良夫

# 1. 概要 – 橋面舗装の概要

- ◆ 橋面舗装とは、橋梁床版上の位置する舗装
- ◆ 全道路延長の約1.1%程度
- ◆ しかし、高速自動車道や一般国道などの主要路線に占める割合は多い
  - ⇒ 長期耐久性の確保が必要
  - ⇒ 適切な維持管理が重要
- ◆ 土工部舗装とは異なり、舗装基盤面が橋梁床版となる
  - ⇒ 特徴を十分理解し、橋面舗装の設計・施工・管理することが重要

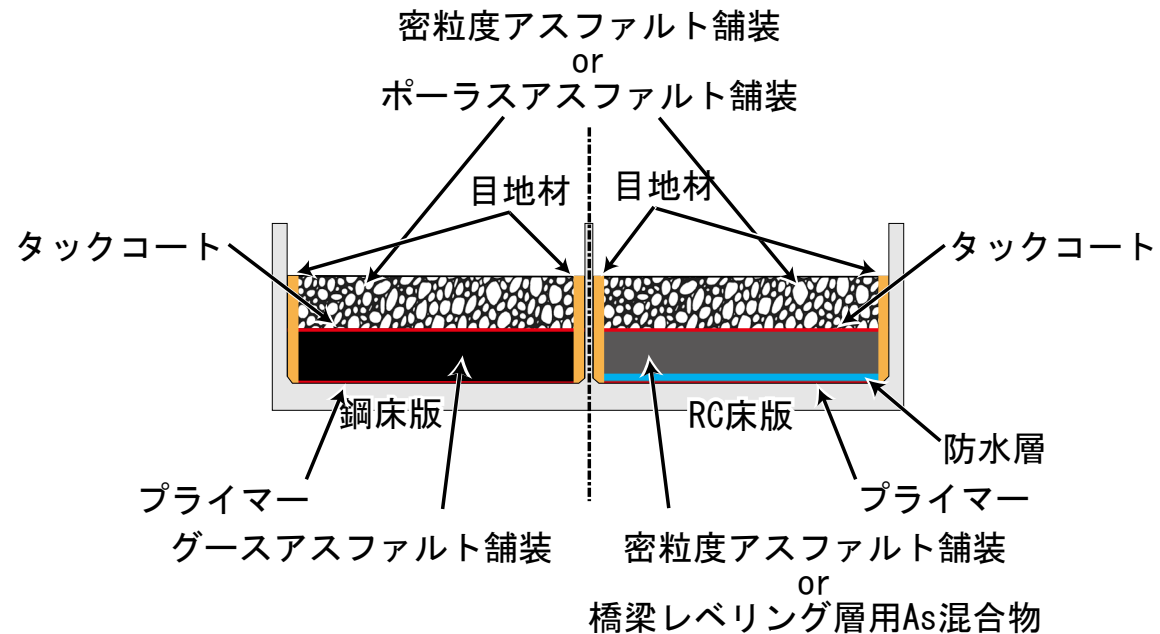
# 1. 概要 - 橋面舗装の変遷

- ◆ 明治から大正，砂利を敷き詰めたもの，木塊を敷き並べたもの  
⇒ 床版を保護するのみ
- ◆ その後，加熱アスファルト混合物による舗装が施工される  
我が国，最初のアスファルトを用いた橋面舗装は神田昌平橋（1878年）
- ◆ 床版の不陸を調整し平坦性を確保，耐久性向上から，表層と基層との2層構成となる
- ◆ 1960年代，床版防水は接着不良による舗装のずれが多発したことから採用を見合わせる時期があった
- ◆ 1970年代，雨水によるコンクリート床版の疲労破壊対策，舗装のはく離対策として，床版防水や排水処理施設を設けるようになった

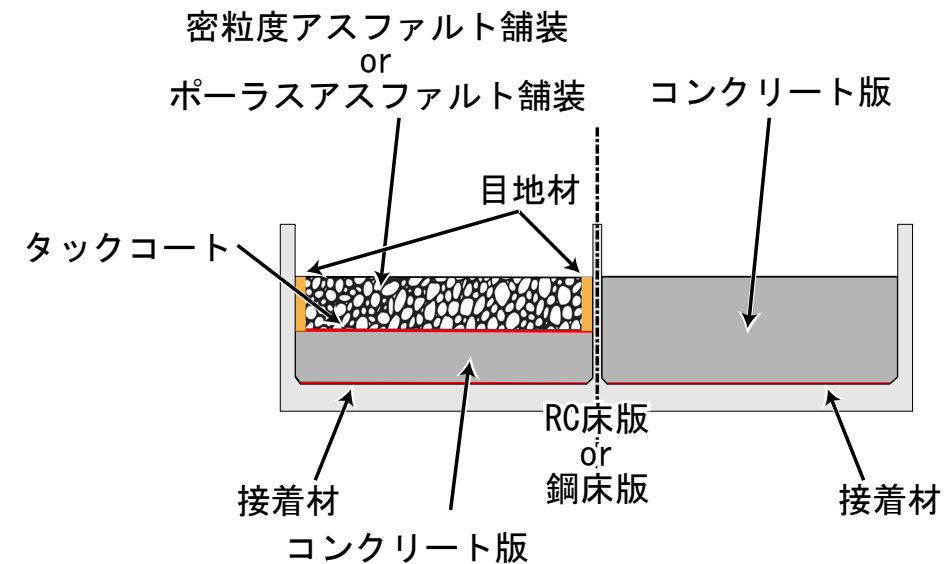
# 1. 概要 - 橋面舗装の特徴

## ● 舗装構造

- ◆ 基層および表層の2層構造が一般的
- ◆ 基層厚さは30～50mm，表層厚さが30～40mm程度が一般的
- ◆ 合計厚さは60～80mmで設計されることが多い ← **交通条件に関係なく**
- ◆ 舗装の層間接着（表基層間，基層床版間など）が重要



橋面アスファルト舗装の代表的な構造



橋面セメントコンクリート舗装の代表的な構造

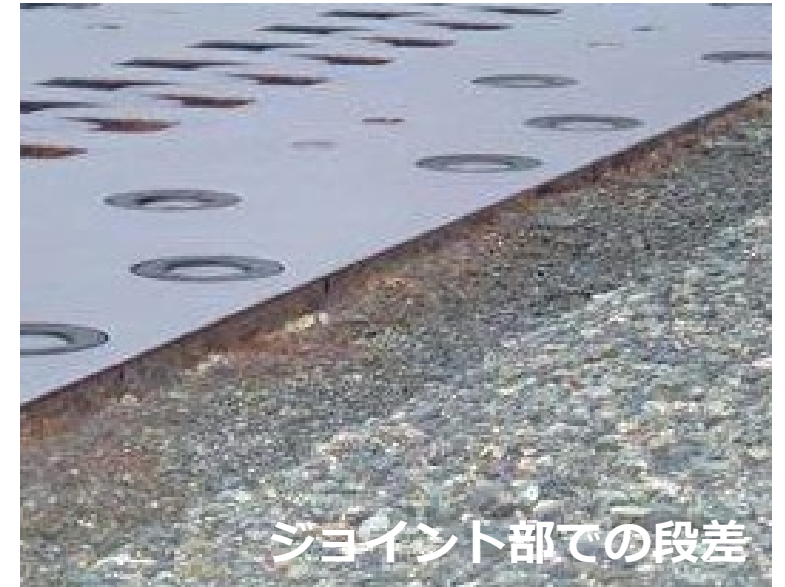
# 1. 概要 - 橋面舗装の損傷（性能低下）





# 1. 概要 - 橋面舗装の損傷（性能低下）

2024.6.6



# 1. 概要－橋面舗装の役割

- 走行安全性と耐久性確保

- ◆床版の不陸を整正して，路面の平坦性の確保
- ◆すべり抵抗性の確保
- ◆流動や摩耗によるわだち掘れに対する安定性の確保
- ◆車両の走行によるせん断抵抗性の確保

- 床版の保護

- ◆床版は，輪荷重を直接受け，雨水や凍結防止材による塩化物イオンの浸透，気象作用などの影響を受けやすい
- ◆そもそも，橋面舗装は，これらの劣化因子から床版を保護するもの
  - ⇒ 加熱アスファルト混合物をもっても雨水等の浸透は防ぎきれない
  - ⇒ 床版保護が必要

## 2. As混合物 – As混合物の要求性能

橋面舗装に用いるアスファルト（アスファルト混合物）は、交通条件、既設舗装の状況、混合物種類等の適用箇所 conditions に応じて選定する。

- 施工性 ⇒ 橋梁床版が気温と共に変化し、施工条件が変わりやすい
- 流動抵抗性 ⇒ 交通集中、走行部が固定されるため変形しやすい
- 耐水性 ⇒ 骨材とアスファルトのはく離による損傷が生じやすい
- たわみ追従性 ⇒ 鋼床版は局部的に変形が生じやすい

## 2. As混合物－橋面舗装に用いられる混合物

- 1878年 神田昌平橋の橋面舗装からスタート
  - 秋田県豊川村の天然アスファルトを使用
- 1960年代 アスファルト舗装要綱（昭和36年度版）
  - 加熱混合式アスファルト舗装（一般的に軟質アスファルト（80～100））
  - グースアスファルト（ドイツ規格DIN1996 B45、B25、B15）
  - アスファルトラバーラテックス乳剤薄層舗装
- 1970年代 アスファルト舗装要綱（昭和53年度版）
  - 加熱混合式アスファルト舗装
    - セミブローンアスファルト、ゴム入りアスファルト、熱可塑性樹脂入りアスファルトなどの改質アスファルトやエポキシ樹脂、石油樹脂などの特殊結合材料の利用
  - グースアスファルト舗装
    - 重交通道路でグースアスファルトを使用する場合には精製トリニダットレイクアスファルトによる改質方法が追記

## 2. As混合物－橋面舗装に用いられる混合物

### ●1980年代

アスファルト舗装要綱（昭和63年度版）：

- 床版の種類に応じて基層混合物を選定

コンクリート床版：粗粒度アスファルト混合物，密粒度アスファルト混合物

鋼床版：グースアスファルト混合物

1987年（社）日本道路協会：

- 「道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工資料」が発刊，コンクリート床版には防水層を全面に設ける。

### ●1990年代 アスファルト舗装要綱（昭和63年度版）

- 鋼床版の基層（レベリング層）におけるグースアスファルトの代替として碎石マスチックアスファルト混合物（SMA）を検討 → 鋼床版舗装用改質アスファルトが開発

### ●2000年代 アスファルト舗装要綱（昭和63年度版）

- コンクリート床版やコンポジット舗装における碎石マスチックアスファルト混合物の検討
- ポーラスアスファルト舗装用 → 鋼床版舗装用高粘度改質アスファルトが開発

| 適用箇所 |          | アスファルト混合物の種類   |
|------|----------|--|
| 表層   |          | 密粒度アスファルト混合物、密粒度ギャップアスファルト混合物、細粒度ギャップアスファルト混合物、ポーラスアスファルト混合物 |
| 基層   | コンクリート床版 | 粗粒度アスファルト混合物、密粒度アスファルト混合物                                    |
|      | 鋼床版      | グースアスファルト混合物<br>(床版防水機能を有する舗装)                               |

\*日本道路協会、舗装施工便覧 (平成18年版)、p177、2006.

## 2. As混合物 - 橋面舗装に用いられる混合物 (現在)

### ◆小粒径ポーラスアスファルト舗装用混合物



小粒径ポーラス  
アスファルト(5)

従来型ポーラス  
アスファルト(13)

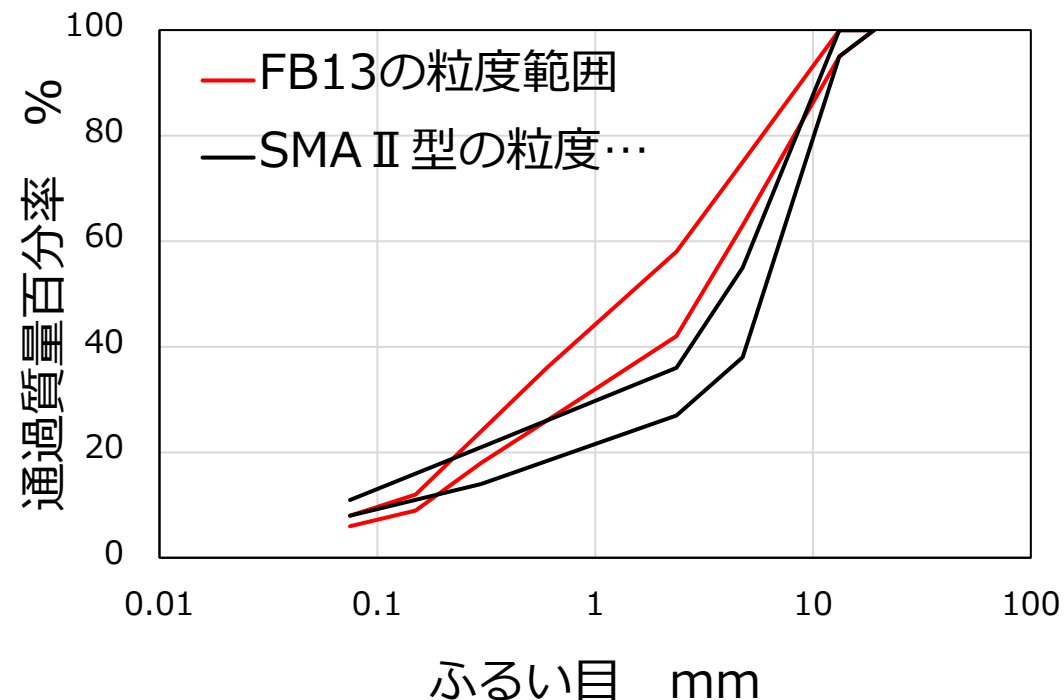
**高耐久型  
超低騒音舗装**

**高機能舗装**

\*蔵治他、損傷対策型小粒径ポーラスアスファルト舗装、道路建設、pp.18-25、2014.

\*\*首都高の技術 | 環境への配慮 <高耐久型超低騒音舗装> (shutoko.jp).

### ◆FB (Flat Bottom) 13



\*田中、高性能床版防水に適合した橋梁レベリング層用アスファルト混合物「FB」の適用の現況について、アスファルト合材、pp.13-19、2016.

\*\*加藤他、橋梁コンクリート床版防水工の高度化に対応したレベリング層用混合物の検討、道路建設、pp.64-70、2013.

## 2. As混合物 - 橋面舗装に用いられる混合物 (現在)

### ◆コンクリート床版用改質グース アスファルト混合物

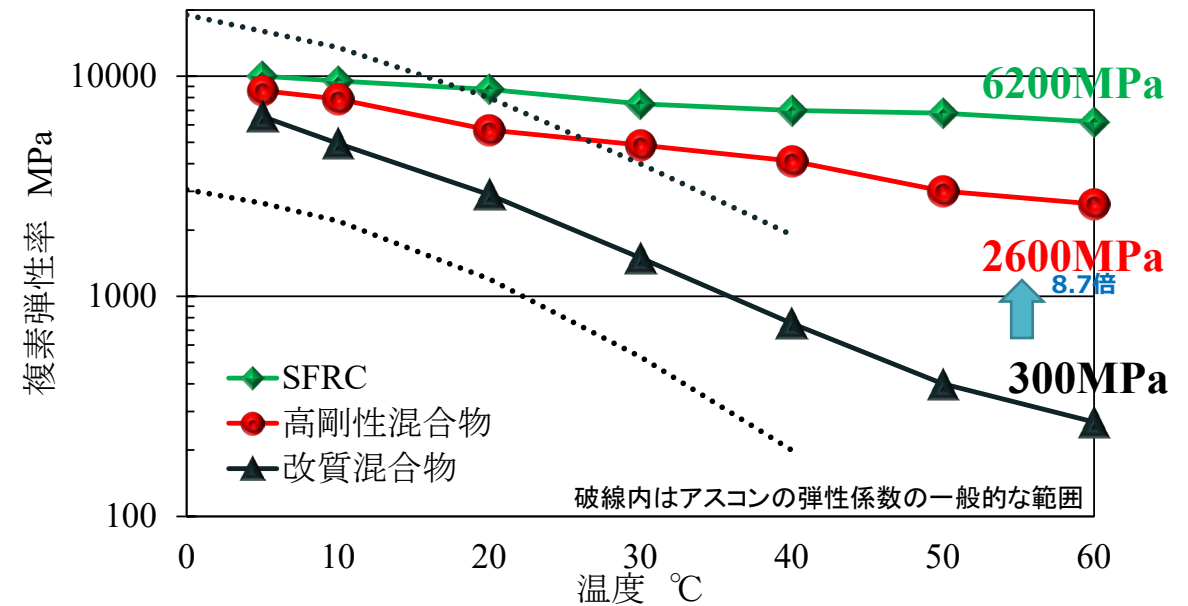


#### 改質グースアスファ ルトの特長

- 耐流動性の向上
- 施工温度の低減 (低臭気化)
- 防水工短縮による規制時間の短縮
- 防水層厚の増大による防水性能の向上
- 材料入手のしやすさ

\*竹林他、コンクリート床版への適用を考慮した新しいグースアスファルト混合物の開発、アスファルト合材、pp.52-57,2019.

### ◆鋼床版補強用高剛性アスファルト 混合物



\*稲荷他、高剛性アスファルト舗装による鋼床版疲労対策、舗装、pp.9-14、2020.



## 一般的には以下の性質を備えていなければならない。

- ①流動抵抗性(flow resistance)
- ②摩耗抵抗性(wearing resistance)
- ③たわみ性(flexibility) ←鋼床版
- ④強度(strength)
- ⑤疲労抵抗性(fatigue resistance)
- ⑥すべり抵抗性(skid resistance)
- ⑦はく離抵抗性(water sensitivity)
- ⑧不透水性(inpermeability)

ただし、不透水性については表層を透水性(permeability)

- ・ 舗装としての耐久性, 供用性  
+  
【床版上は通常のコンクリート舗装よりも薄い】  
↓
- ・ 曲げ耐久性 (曲げ靱性)
- ・ 床版との付着性
- ・ 薄層での施工性の確保

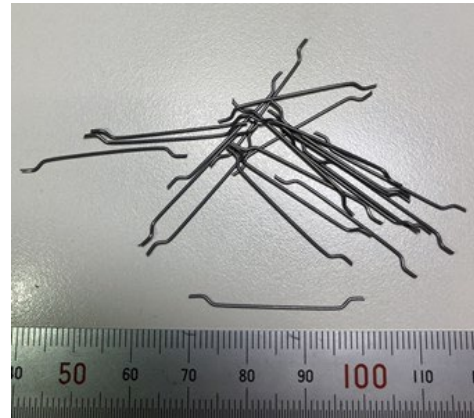


近年の都市内高速道路では, 繊維補強コンクリートが多く使用されており, 粗骨材の最大寸法も通常よりも小さい (13mm) を使用する場合もある.

# 3. セメント コンクリート — 使用材料

## 橋面舗装で使用される主な材料

- **超速硬セメント**・・・3時間で圧縮 $20\text{N}/\text{mm}^2$ （コンクリート）を出すことができる。  
近年都市内高速道路の補修工事などで頻繁に使用されている。JIS等での仕様の基準は定まっていない。
- **ポルトランドセメント**  
橋面舗装で見込まれるのは、「超早強セメント」, 「早強セメント」,  
「普通セメント」
- **短繊維**
  - 鋼繊維
  - 有機繊維
- **化学混和剤**



鋼繊維



有機繊維  
(アラミド繊維)



有機繊維  
(ビニロン繊維)

- 橋面上コンクリート舗装材料に求められる主な必要な性能は以下のとおりである。

主なコンクリート強度の基準値

| 性能         | 項目               |
|------------|------------------|
| コンクリートの耐久性 | コンクリート強度         |
|            | 曲げたわみ性           |
| 床版との付着性    | 付着性 <sup>※</sup> |
| 車両の走行性     | すべり抵抗性           |
|            | 走行快適性            |

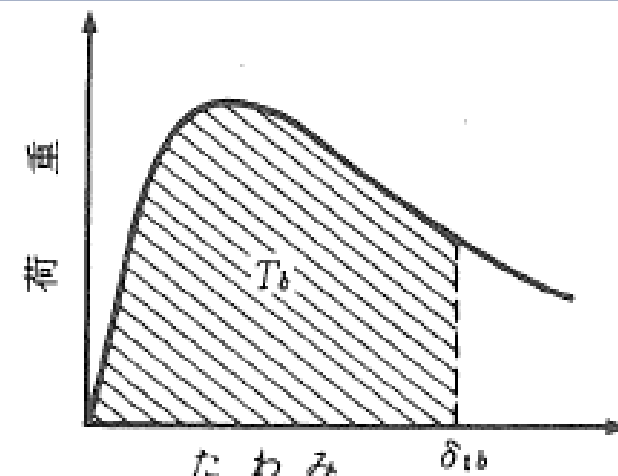
※「付着性」に関しては、コンクリート材料よりも接着剤（付着剤）の性能によるところが大きい。

| 床版       | コンクリート種類 | 用途         | 目標強度   |
|----------|----------|------------|--|
| 鋼床版      | SFRC     | 鋼床版疲労対策    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・超速硬セメントの場合、3時間で圧縮24N/mm<sup>2</sup>以上</li> <li>・早強セメントの場合、7日で圧縮30N/mm<sup>2</sup>以上</li> </ul>                     |
| 鋼床版      | HFRC     | 鋼床版疲労対策    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・3時間で圧縮24N/mm<sup>2</sup>以上</li> <li>・3時間で曲げ4.8MPa以上（超速硬セメント使用）</li> </ul>  |
| コンクリート床版 | PCM      | コンクリート床版補修 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・3時間で圧縮12N/mm<sup>2</sup>以上</li> <li>・28日で圧縮24N/mm<sup>2</sup>以上</li> <li>・弾性係数28日で28kN/mm<sup>2</sup>以下</li> </ul> |

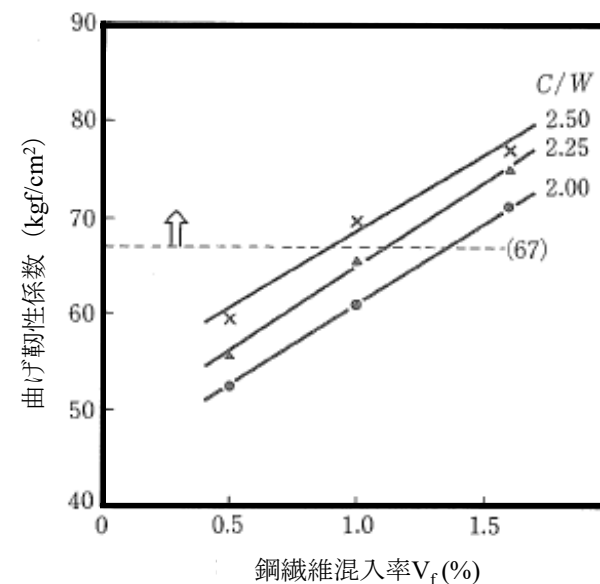
## ● 曲げたわみ性

- 橋面上コンクリート舗装は土工部よりも薄層で大きな曲げ作用を受けるため、都市内高速道路のような交通量の多い箇所では、曲げ靱性を有する必要がある。
- 曲げ靱性係数（曲げタフネス）は、破断が起きるまでの荷重とたわみのエネルギーで表されるが、基準値は定まっていない。
- SFRCの場合、これまでの検討から、所定の鋼繊維と曲げ靱性の関係が求められており、経験的に混入量が決められている（100～120kg/m<sup>3</sup>程度）

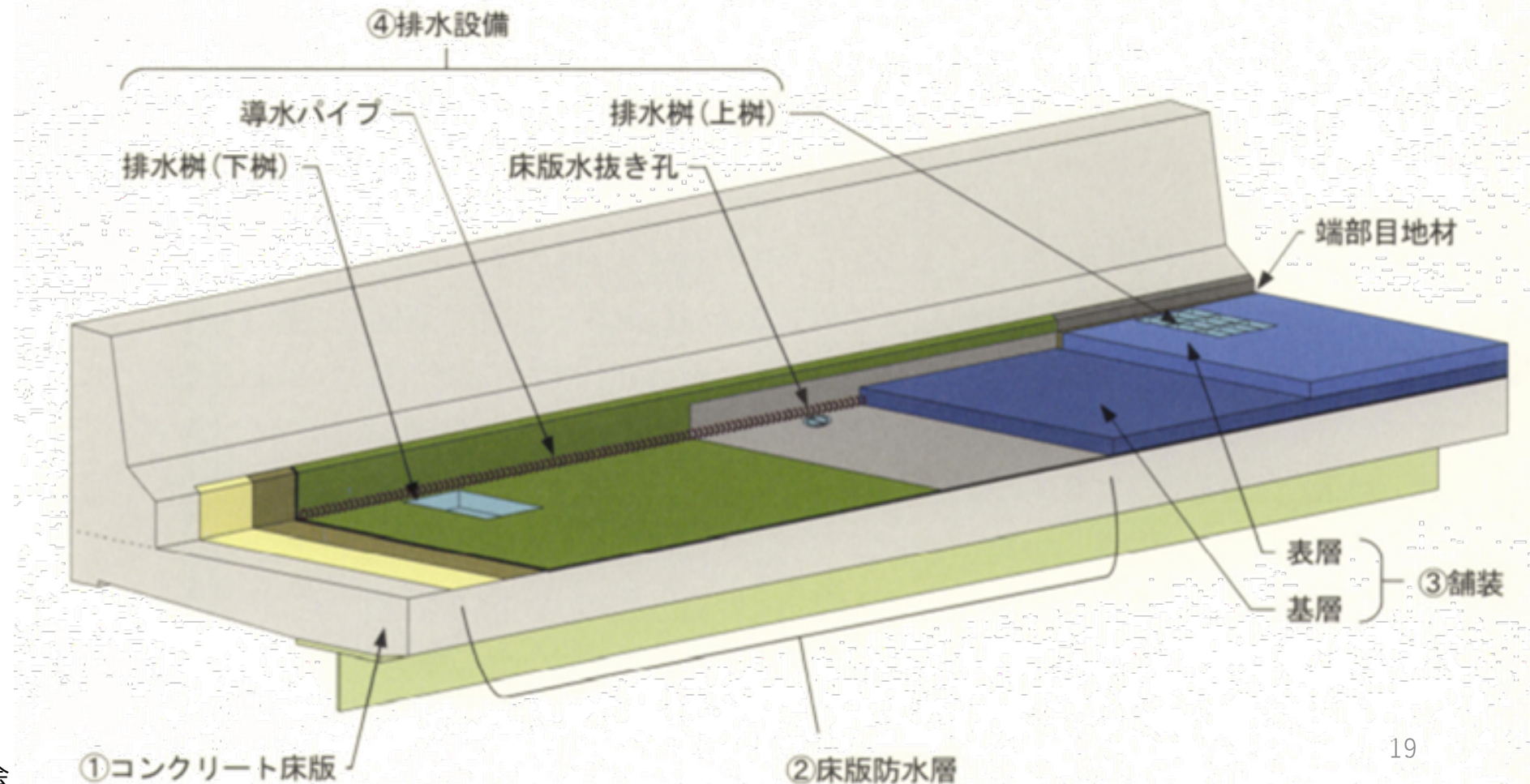
### ・曲げ靱性係数（曲げタフネス）の求め方



### ・繊維混入量と曲げ靱性係数の関係例



- ① コンクリート床版または鋼床版
- ② 床版防水層（端部防水層を含む）
- ③ 舗装
- ④ 排水設備



## シート系床版防水層

- (1) 流し貼り型
- (2) 加熱溶着型
- (3) 常温粘着型

## 塗膜系床版防水層

- (1) アスファルト加熱型
- (2) ゴム溶剤型
- (3) 反応樹脂型

## 床版防水性能を有する舗装

- (1) グースアスファルト舗装 (TLA, 鋼床版に適用)
- (2) **ポリマー改質系グースアスファルト舗装** など

## その他の床版防水層

- ・ 複数の防水材料を組み合わせる工法 (複合防水工法)  
→ **浸透型防水材料 + 塗膜系防水材料**
- ・ **床版防水機能を有する床版補修材**  
→ 超高性能繊維補強セメント系複合材料 (UHPFRC)
- ・ **その他**  
→ 舗装と一体となって防水性能を発揮する塗膜系防水 など

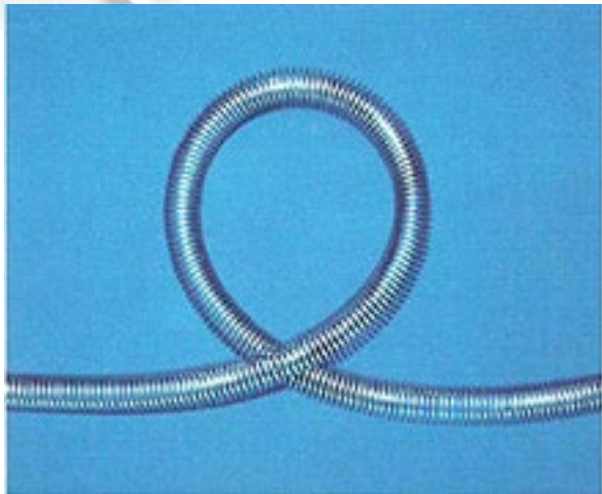
|                    | 東中西高速道路株式会社                         | 首都高速道路株式会社                          | 阪神高速道路株式会社   |
|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| 防水性<br>(遮塩性)       | 防水性試験Ⅱ<br>防水性試験Ⅱ (高温舗設)<br>舗設抵抗性試験  | 防水性試験Ⅰ<br>浸透性試験                     | 防水性試験Ⅱ (凹凸面含む)<br>浸透性試験                                |
| 接着性                | 引張接着試験 (-30~50℃)<br>せん断試験 (-30~50℃) | 引張接着試験 (-10~23℃)<br>せん断試験 (-10~23℃) | 引張接着試験 (凹凸面含む)<br>せん断試験 (凹凸面含む)<br>せん断試験 (EU式) (凹凸面含む) |
| 耐変形性               | ひび割れ追従性試験Ⅱ                          | 低温可撓性試験                             | 低温可撓性試験<br>ひび割れ追従性試験Ⅱ                                  |
| 耐熱性<br>耐薬品性<br>耐水性 | 温冷変化及び薬品負荷試験<br>耐薬品性試験<br>水浸引張接着試験  | 耐水性試験<br>水浸引張接着試験                   | 引張接着・せん断試験<br>耐薬品性試験<br>水浸引張接着試験                       |
| 耐荷性                | せん断試験 (50℃)<br>はがれ抵抗性試験             | はがれ負荷試験<br>(複層実厚低速DS)               | 局部変形性試験  |
| 耐久性                | WT負荷試験<br>ひび割れ開閉負荷試験                | —                                   | (ひび割れ開閉負荷試験)<br>(せん断疲労試験)                              |
| 施工性                | 膨れ抵抗性試験                             | (乾燥時間)                              | ブリスタリング抵抗性試験<br>(乾燥時間)                                 |



# 5. 排水装置ー排水装置の種類

## ● 水平方向へ排水する装置

### (1) 導水パイプ (鋼製)



導水パイプ (鋼製) の例

### (2) 導水パイプ (樹脂製)



導水パイプ (樹脂製) の外観

### (3) 導水テープ

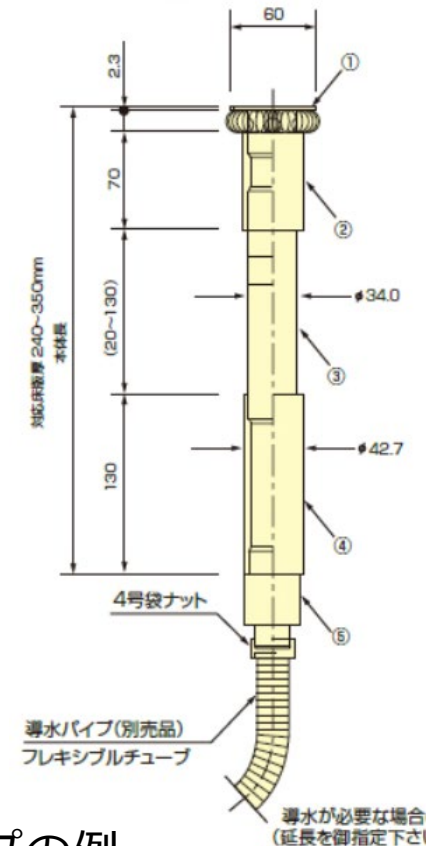


導水テープの外観

# 5. 排水装置—排水装置の種類

## ● 垂直方向へ排水する装置

- 水抜き孔は、床版上や床版防水層上の滞留水，導水パイプや導水パイプによって集水された水を床版下面に排水するための，床版を貫通する鉛直方向の排水装置である。
- 水抜き孔にはドレーンパイプを設置する。



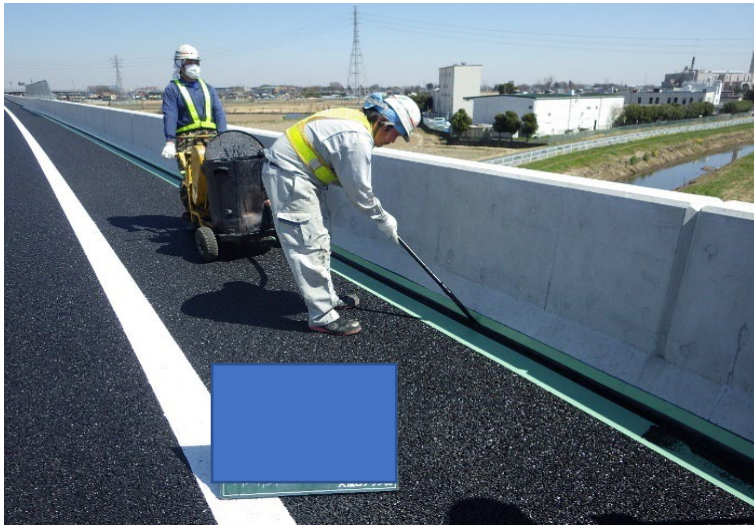
ドレーンパイプの例

# 5. 排水装置—評価方法と基準

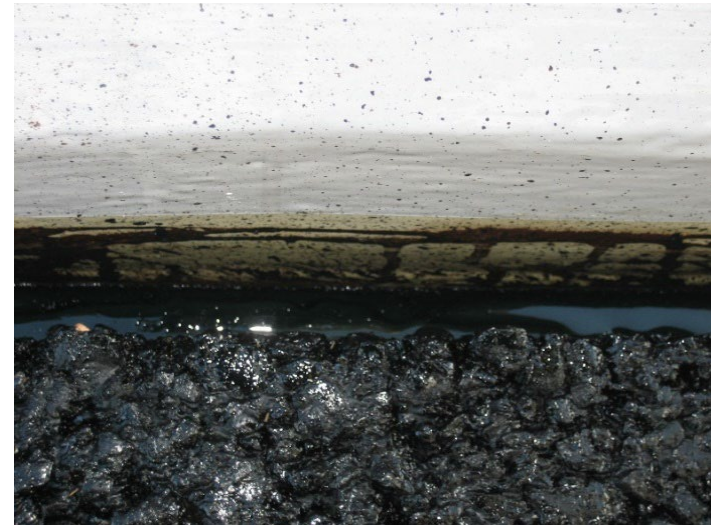
- 導水パイプや導水テープおよび水抜き孔などの排水装置は、その製品自体の性能は材料メーカーの試験により確認されているものの、それらを実橋に適用した場合の排水の評価について検証された事例はほとんどない。

# 6. 目地材—目地材の種類

- ◆ 縦施工継目や構造物との境界部からの雨水の浸透対策として設置されるのが目地材である。
- 注入目地材
  - 注入目地材には加熱式と常温式があり，その充填は容器を用いて人力で注入する場合や専用機械を用いて注入する場合がある。
  - 加熱式の注入目地材は，アスファルトを主成分としたものが主流である。
  - 常温式の注入目地材は，樹脂を主成分としたものが主流である。



注入目地材の施工状況



注入した目地材

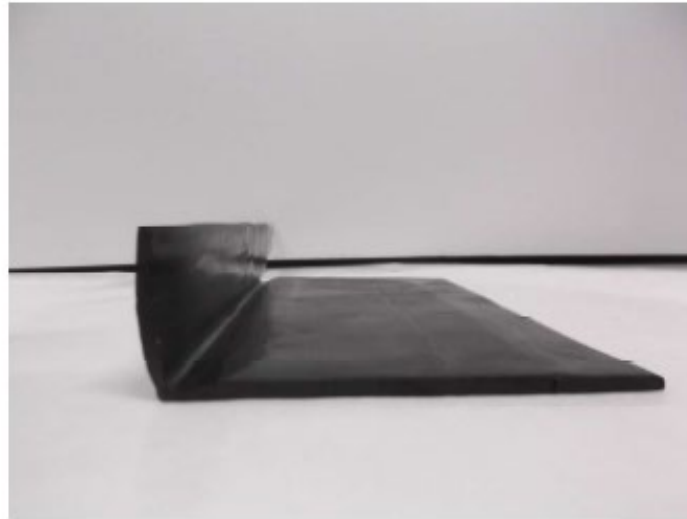
# 6. 目地材—目地材の種類

## ● 成型目地材

- アスファルト混合物の舗設前に，成型目地材を縦施工目地や地覆および縁石などの垂直面に設置する。
- 成型目地材が自立し，貼り付け面に安定して設置できるように，L型の成型目地材が開発されている。



L型の目地材



L型の目地材の設置例

- 首都高速道路株式会社では、目地材について、その品質を基準化している。
- 課題としては、
  - 実道レベルでその効果を検証が望まれる。
  - 目地材による止水性の効果とコストの関係を明らかにする必要がある。

# 7. 補修材料－橋面舗装の損傷形態と要因

| 損傷の種類  | 要因   |  |
|--------|--|--|
|        | 外的要因   | 内的要因   |
| ポットホール | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 雨水の浸入</li> <li>・ 夏季の高温</li> <li>・ 交通荷重</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 舗装の締固め不足</li> <li>・ 床版不陸</li> <li>・ 舗装厚不足</li> <li>・ 舗装混合物のはく離</li> <li>・ 床版，防水層，基層および表層の層間の接着不良</li> <li>・ 排水不良</li> </ul> |
| わだち掘れ  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 夏季の高温</li> <li>・ 交通荷重</li> </ul>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 舗装の締固め不足</li> <li>・ バインダの選定不良</li> </ul>  |
| ひび割れ   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 雨水の浸入</li> <li>・ 紫外線</li> <li>・ 交通荷重</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 舗装の締固め不足</li> <li>・ 舗装の老化</li> <li>・ 舗装混合物のアスファルト量不足</li> <li>・ 床版，防水層，基層および表層の層間の接着不良</li> </ul>                           |

## 補修材料の種類と種別

| 補修材料の種類   |     | 種別        |
|-----------|-----|-----------|
| ポットホール補修材 |     | 加熱系       |
|           |     | カットバック系   |
|           |     | 反応系       |
| シール材      | 加熱型 | アスファルト系   |
|           | 常温型 | アスファルト乳剤系 |
|           |     | 樹脂系       |
| 表面処理材     |     | スラリー系     |



# 7. 補修材料－評価方法と基準

## ● 補修材の評価方法

- ひび割れシール材や表面処理材については、その製品自体の性能は材料メーカーの試験により確認されているものの、それらを実橋に適用した場合の評価について検証された事例はほとんどない。

## ● 補修材の基準

- 首都高速道路株式会社では、ポットホールおよびシール材について、その品質を基準化している。

常温混合物の品質の例

| 評価する性能  | 項目           | 品質規格    | 試験方法                            |
|---------|--------------|---------|---------------------------------|
| 骨材飛散抵抗性 | 常温カンタブロ損失率 % | 20以下    | 本要領1.5.5(1)<br>常温カンタブロ試験        |
| 塑性変形抵抗性 | 常温低速DS 回/mm  | 3,000以上 | 本要領2.5.5(2)<br>常温低速ホイールトラッキング試験 |

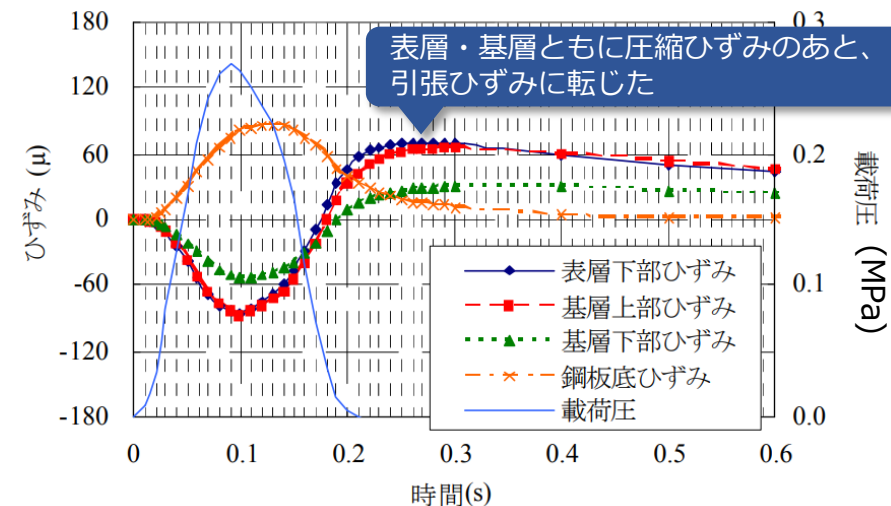
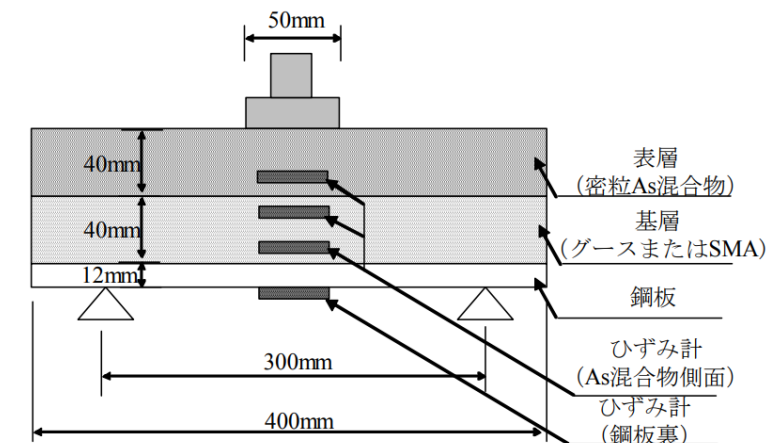
# 8. 材料に求められる性能評価例 — 橋梁床版上での舗装挙動の解析事例

## ●FEM解析を用いた性能評価の目的

◆橋面舗装が供用中に受ける力学的作用は、床版・橋梁の構造特性による影響が無視できないと考えられる

◆橋面舗装は、アスファルト混合物の粘弾性的性質により、弾性体とは異なる応力・ひずみ履歴を受けている可能性がある

⇒合理的な構造設計や材料の要求性能を示すために、これら作用の大きさ、影響の程度を評価できる手段として、FEM解析が選択肢の一つとなる



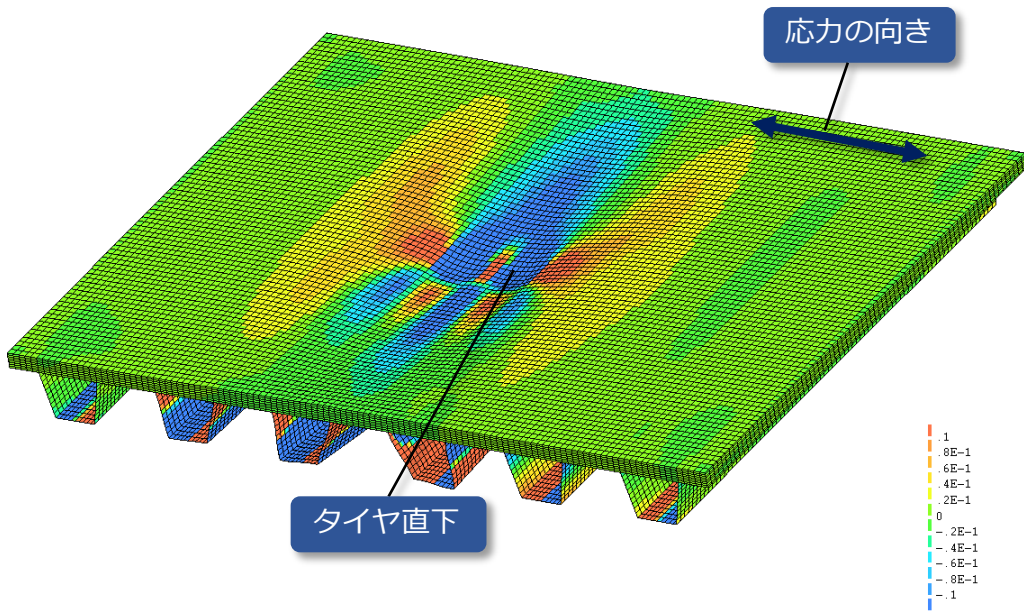
基層グース供試体の40°Cにおけるひずみの時刻歴

出典：久利良夫, 鎌田修, 坂本康文, 丹波寛夫, 吉田信之: 鋼床版上アスファルト舗装のひずみ挙動に関する研究, 土木学会舗装工学論文集, 第15巻, 2010.12.

# 8. 材料に求められる性能評価例 — ひび割れ抵抗性に関する検討事例

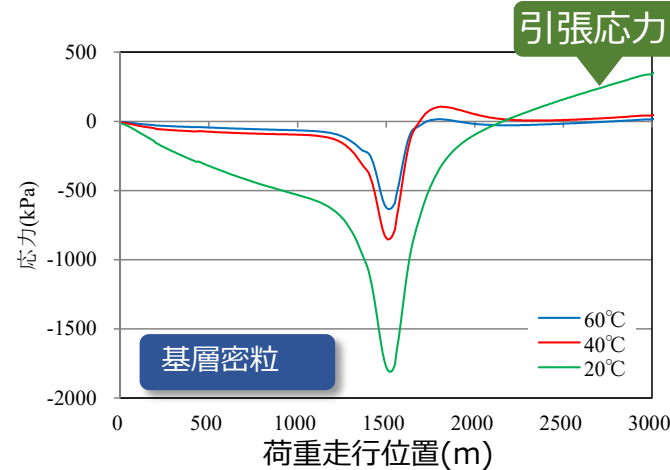
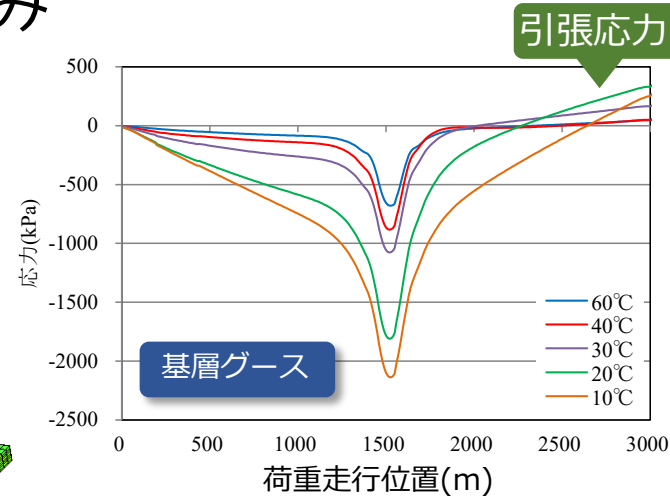
## ● 圧縮ひずみ域における引張応力

◆ 粘弾性的性質によって圧縮ひずみのみが作用する領域に引張応力が作用

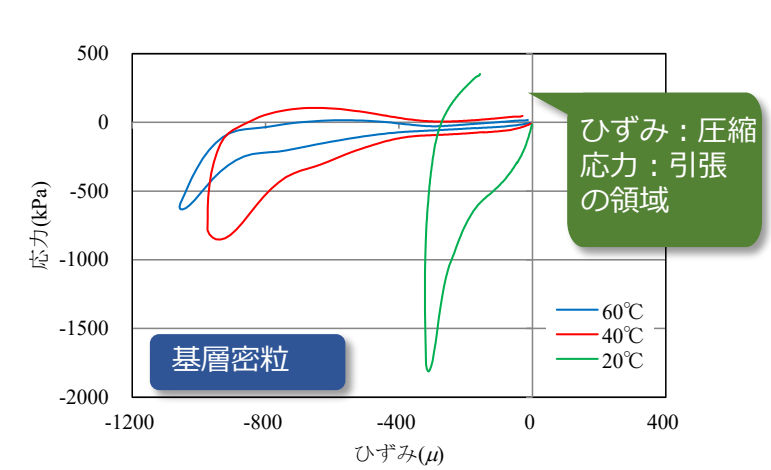
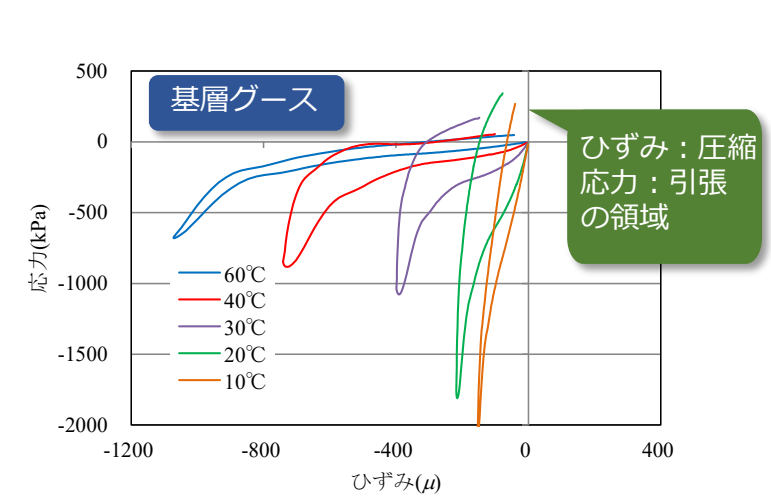


基層密粒系Asモデルの40℃・走行速度20km/h  
橋軸直角方向応力コンター図

出典：戸田 圭彦, 田中 克弘, 久利 良夫, 鎌田 修, 横田 慎也 : 鋼床版アスファルト舗装の粘弾性的な引張応力および散逸エネルギーに関する解析的研究, 土木学会論文集E1(舗装工学), No. 75, Vol. 2, 2019.



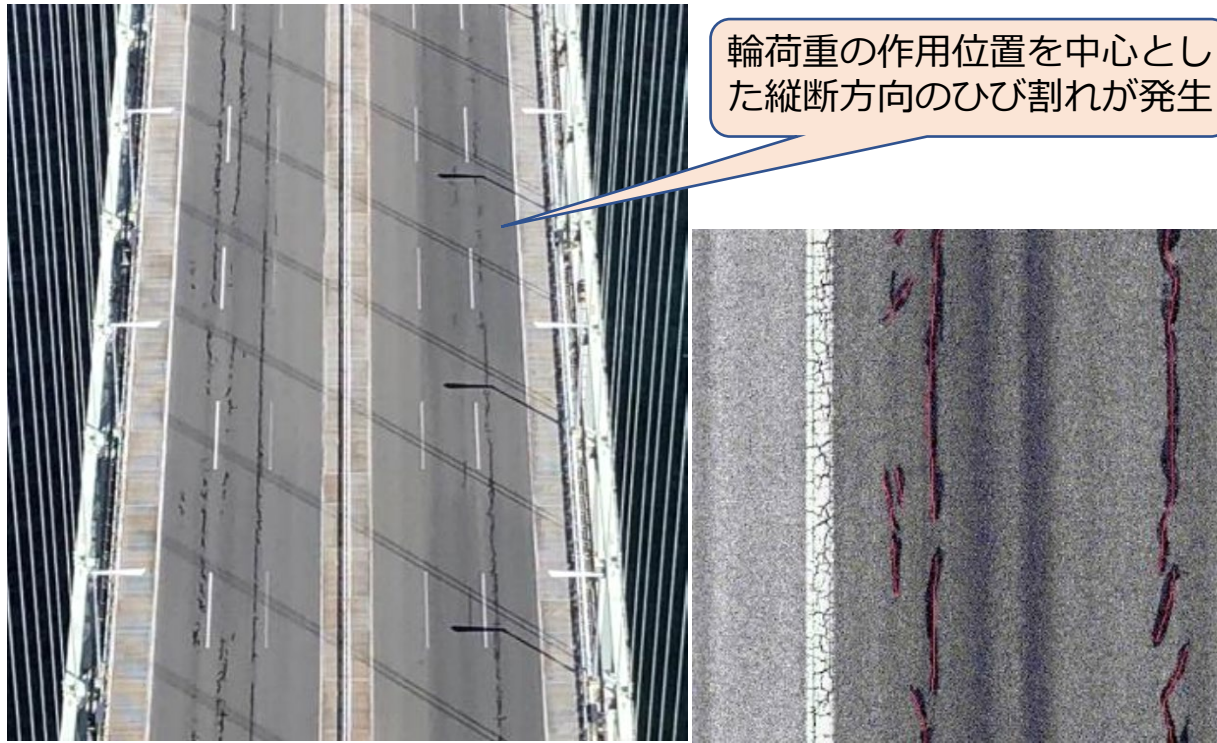
床版中央位置のタイヤ直下における舗装表面の橋軸直角方向応力時刻歴応答



タイヤ直下要素の  
応力-ひずみ関係<sup>32</sup>

●評価事例(明石海峡大橋)

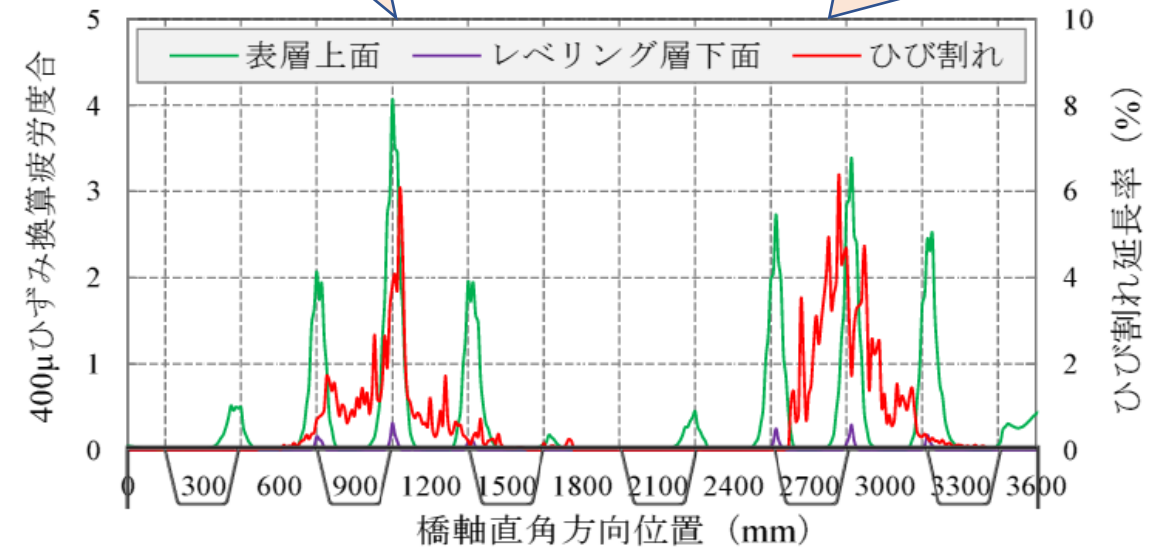
1998年供用開始、鋼床版



2021年論文のひび割れ状況写真抜粋

引張ひずみが生じる確率の高い箇所と、ひび割れ延長率が特異的に高い箇所が一致

高温環境下で表層上面に発生した引張ひずみに起因するトップダウンクラック



◆橋面舗装に発生する損傷は、土工部と形態は同じであるが、発生メカニズムが異なっていると考えられる

➤材料面では、

- 橋面舗装に求められる性能の整理
- 既存の橋面舗装材料の供用性実績の調査  
⇒ 耐久性のある材料を評価
- 橋面舗装の挙動に関する研究（舗装材料特性を考慮した3次元FEM解析）  
⇒ 力学的、理論的な観点から評価  
⇒ 橋面舗装の特徴を考慮した室内試験

などから、橋面舗装材料の要求性能を検討する必要がある

# 10. 現在の活動—橋面舗装小委員会の設立

舗装工学委員会

舗装工学委員会  
幹事会

- 路面性状小委員会
- 舗装と環境に関する小委員会
- 舗装工学論文集編集小委員会
- 企画運営小委員会
- 舗装標準示方書改訂小委員会
- 舗装材料小委員会
  - アスファルト混合物分科会 ----- 橋面舗装WG
  - 路床・路盤材料分科会
  - リサイクル材料分科会
- 国際舗装技術交流小委員会
- アスファルト舗装設計小委員会
- コンクリート舗装小委員会
- 寒冷地舗装小委員会
- 歩行者系舗装小委員会
- 舗装マネジメント小委員会
- 土木学会論文集編集委員会 52 小委員会
- **橋面舗装小委員会（2024.6.6現在35名）** ←

# 10. 現在の活動－橋面舗装小委員会の活動

- 橋面舗装は特殊な舗装であるが、技術資料を体系的に取りまとめたもの少ない。
- 舗装材料小委員会アスファルト混合物分科会（橋面舗装WG）では、橋面舗装に使用されている材料の変遷と、現在使用されている材料を中心に取りまとめた。
- 今後は、橋面舗装の設計、施工、維持管理を含めたとりまとめを行っていく必要があると考えている。
  - ⇒ 「橋面舗装の設計、材料、施工、維持管理」を技術資料として取りまとめていく予定である。

# 「舗装材料の特性と評価」に関する報告会

## 路床・路盤分科会の総括

2024.6.6

路床・路盤分科会 川端 伸一郎（北海道科学大学）



# 活動目標と活動実績

## ➤活動目標

路床・路盤材料の評価法および設計に用いる「CBRやMr」などの相互の相関や特性について、文献調査や一斉試験により情報を整理する。  
路床・路盤材料に関する最新の情報を「舗装標準示方書」に反映する。

## ➤メンバー

## ➤活動実績

分科会 計10回

舗装標準示方書の執筆

文献調査

委員による成果発表

| 職名   | 氏名     | 所属機関              |
|------|--------|-------------------|
| 分科会長 | 川端 伸一郎 | 北海道科学大学 工学部       |
| 幹事   | 山中 光一  | 日本大学 理工学部         |
| 委員   | 池田 茜   | 日本道路(株) 生産技術本部    |
| 同    | 石川 達也  | 北海道大学大学院工学研究院     |
| 同    | 伊藤 壺記  | (公財)鉄道総合技術研究所     |
| 同    | 久保 裕一  | (株)開発調査研究所 交通計画部  |
| 同    | 久保寺 貴彦 | 東洋大学 理工学部         |
| 同    | 木幡 行宏  | 室蘭工業大学大学院 工学研究科   |
| 同    | 斉藤 欣哉  | (株)佐藤渡辺 工事本部技術部   |
| 同    | 佐藤 研一  | 福岡大学 工学部          |
| 同    | 関根 悦夫  | (株)HRC研究所         |
| 同    | 竹内 康   | 東京農業大学 地域環境科学部    |
| 同    | 久利 良夫  | 近畿大学 非常勤講師        |
| 同    | 若月 洋朗  | 千葉エンジニアリング(株) 技術部 |
| 同    | 渡邊 真一  | (株)NIPPO技術研究所     |

## ➤構成を見直して内容を再整理

⇒ 材料編「路盤に用いる材料」と「路床に用いる材料」に再編

## ➤関連資料の追加

- ・「アスファルト舗装設計における  
路床・路盤の弾性係数の設定方法」
- ・「 $n$ 年確率凍結指数の推定方法」
- ・「修正Berggren式による凍結深さの推定方法」

- 路床・路盤の剛性評価に関する文献調査  
⇒ 調査資料の作成「論文概要，実験方法，図表」（165件）
- 路床・路盤の剛性評価に関する一斉試験  
⇒ NPO法人 舗装診断研究会 舗装診断装置検証委員会  
小型FWD検証分科会との連携（委員長：木幡 行宏）

## 分科会からの成果報告

- ① 一斉試験の概要とCBRのばらつきに関する検討：川端 伸一郎（北海道科学大学）
- ② CBRと弾性係数の関係式に関する検討：池田 茜（日本道路）
- ③ 小型FWD一斉試験によるK値のばらつきに関する検討：木幡 行宏（室蘭工業大学）

# 「舗装材料の特性と評価」に関する報告会

## 一斉試験の概要と CBRのばらつきに関する検討

2024.6.6

路床・路盤分科会 川端 伸一郎（北海道科学大学）

**【舗装の性能照査型設計では】**

様々な設計条件に応じて**材料定数**（弾性係数やポアソン比）を変化させることで**合理的な設計が可能**

**【路床・路盤材料の材料定数の決定】**

レジリエントモデュラス試験 ⇒ 復元弾性係数（Mr）

↓ 特殊な繰返し三軸圧縮試験

現場試験：FWDからの逆解析による弾性係数を利用

室内試験：CBRからの換算式 ⇒ Mr = (5~10) CBR



貫入速度 1mm/min  
供試体直径  $\Phi=15.0\text{cm}$   
供試体高さ  $h=12.5\text{cm}$   
貫入抵抗からCBRを算出

## 【CBR試験の扱い】

従来型の舗装設計（経験的設計法）はCBRに基いている

Mrの推定などCBRを軽視できない⇒ 特性の整理が必要

舗装工学委員会 舗装材料小委員会 路床路盤分科会

委員長：関根 悦夫

CBR試験，レジリエントモデュラス試験，静的三軸圧縮試験

NPO法人 舗装診断研究会 舗装診断装置検証委員会 小型FWD検証分科会

委員長：木幡 行宏

小型FWD試験，平板載荷試験，**現場CBR試験**



**本報告では，このうちCBRのばらつきに注目**

## 【実験試料】

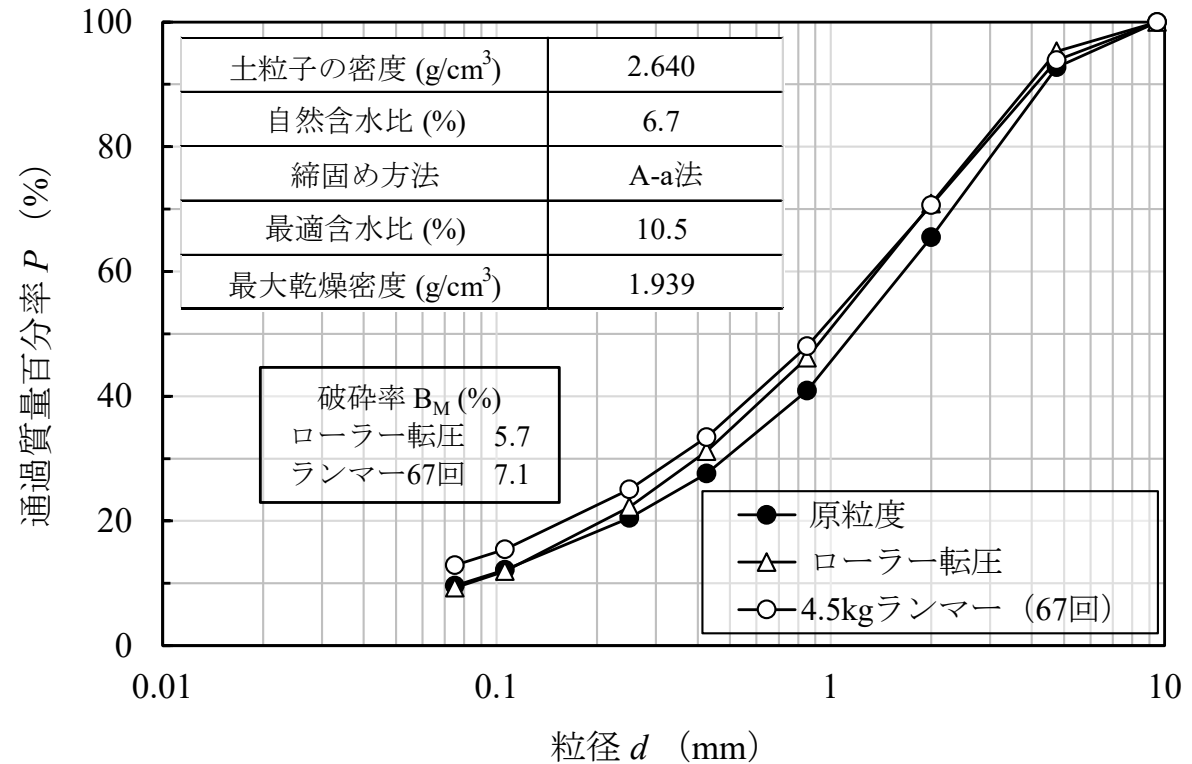
砂質土（まさ土）

ローラー転圧やランマー締固め  
破砕率 6~7%

## 【参加機関：6機関】

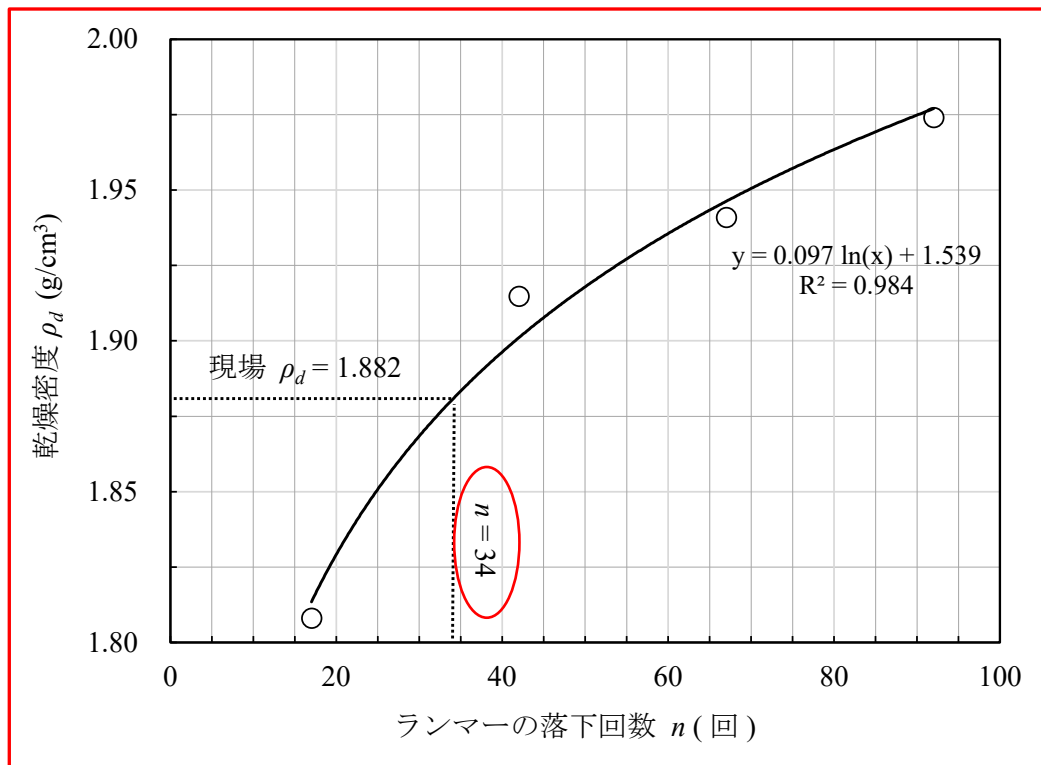
## 【試料提供】

NPO法人 舗装診断研究会 舗装診断装置検証委員会 小型FWD検証分科会





| 条件 | 含水比 | 締めめ条件               | 水浸条件 |
|----|-----|---------------------|------|
| ①  | 自然  | 4.5kgランマー, 67回/層×3層 | 4日水浸 |
| ②  | 自然  | 4.5kgランマー, 34回/層×3層 | 4日水浸 |
| ③  | 自然  | 4.5kgランマー, 34回/層×3層 | 非水浸  |



条件①：設計CBR

条件②, ③：現場密度相当

\*\*\*\*\* 比較対象 \*\*\*\*\*

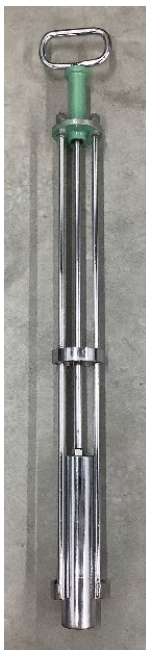
条件①と条件②：密度の違い

条件②と条件③：水浸の違い

条件③と現場CBR：試験法の違い

# 参加機関の締固め方法と貫入装置

| 機関      | 締固め方法<br>(ランマー) | 貫入装置    |
|---------|-----------------|---------|
| A・B     | 手動（人力式）         | ギア式（電動） |
| C・D・E・F | 自動（機械式）         |         |



2機関



4機関



6機関

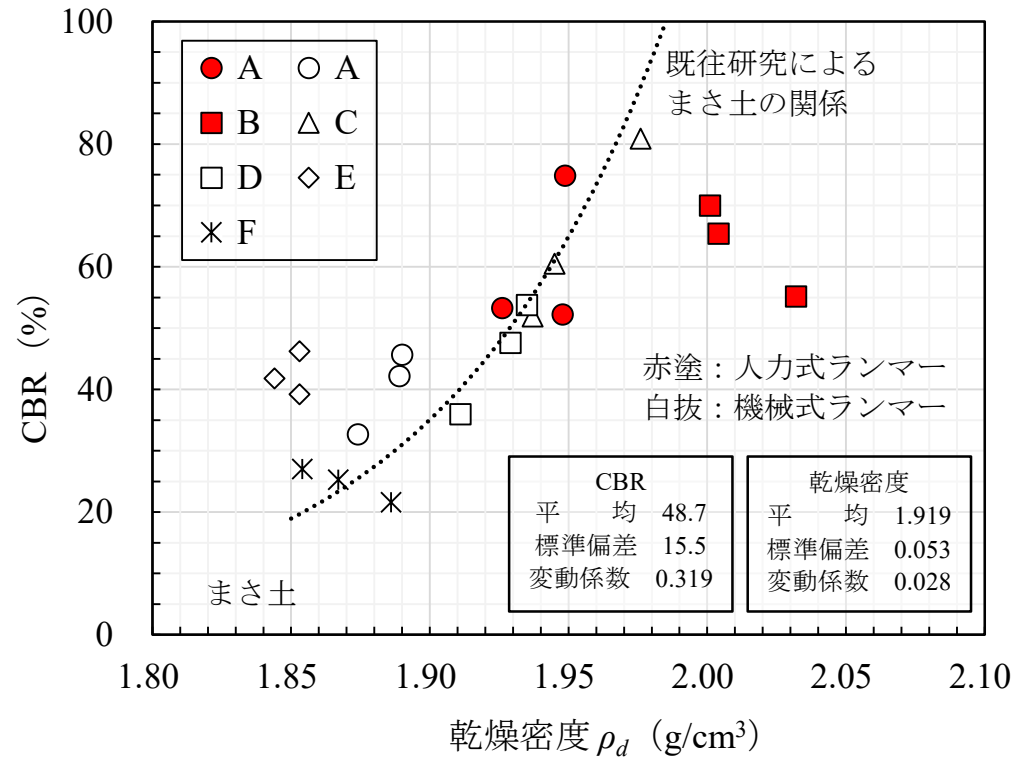


0機関

## 機関別のCBRのばらつきを検証

- 試験試料 … まさ土
- 試験方法 … 【締固め試験】機関別，【CBR試験】機関別

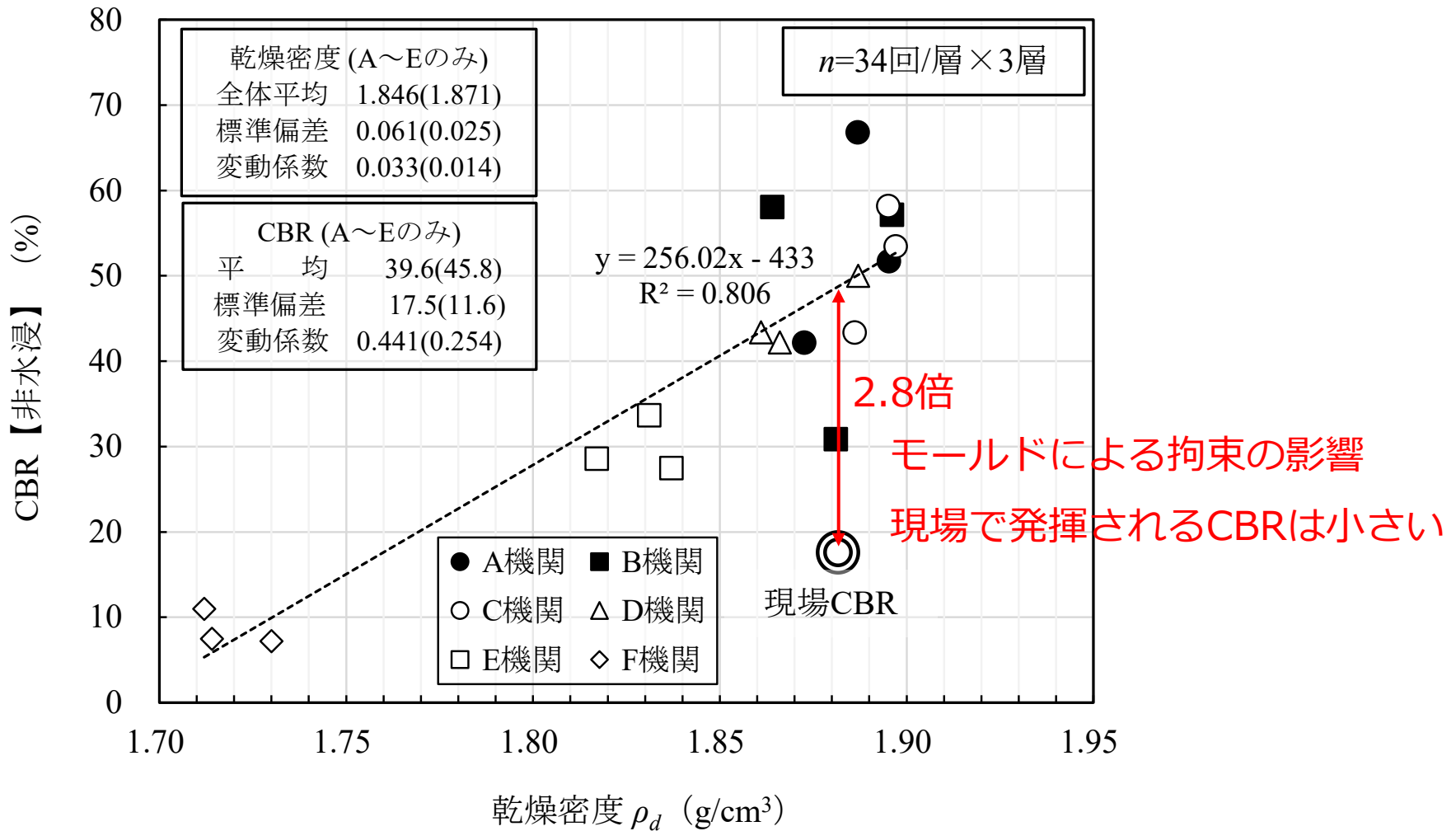
| 試料  | 機関 | 締固め方法 | 測定項目 |      | CBR測定 |
|-----|----|-------|------|------|-------|
|     |    |       | 落下位置 | 落下運動 |       |
| まさ土 | A  | 人力式   | 未測定  | 未測定  | 機関別   |
|     | A  | 機械式   | 測定   | 測定   | 機関別   |
|     | B  | 人力式   | 未測定  | 未測定  | 機関別   |
|     | C  | 機械式   | 測定   | 未測定  | 機関別   |
|     | D  | 機械式   | 測定   | 未測定  | 機関別   |
|     | E  | 機械式   | 測定   | 未測定  | 機関別   |
|     | F  | 機械式   | 測定   | 未測定  | 機関別   |



- 機関別の乾燥密度のばらつきが大きい (CBRが20~80)
- 人力式ランマーの乾燥密度が総じて高い

➡ 機械式ランマーの特性に注目

# 現場密度相当のCBRと現場CBR



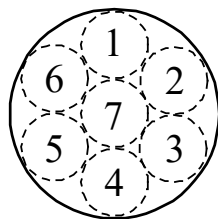
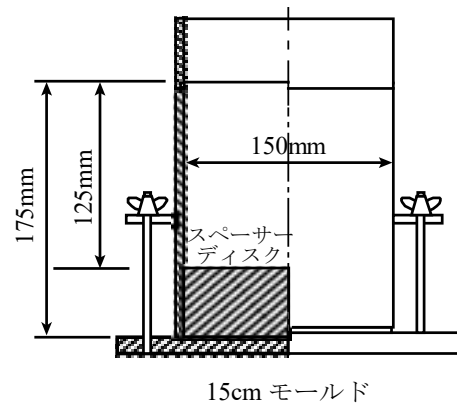
今回の一斉試験により、機関別の**供試体密度のばらつきが大きいこと**が明らかとなり、その影響でCBRが変化することを示した

## 【課題】

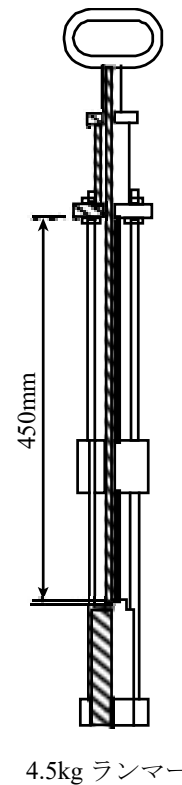
締固め装置のキャリブレーションが必要では？

- ・ 打撃エネルギーの評価（衝撃加速度測定など）
- ・ 落下位置の評価（標準試料による密度測定など）

⇒ **派生研究に発展**



[15cm モールドの場合]  
ランマー落下位置



## 【JIS A 1210：突固めによる土の締固め試験】

- ランマーによる突固め方式
- ランマーは規定高さから自由落下させ、モールドの縁に沿って移動させながら均等に突固める
- 人力による操作が原則
- 自由落下の条件を満たせば、機械式も可（実務では圧倒的多数）

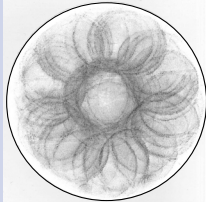
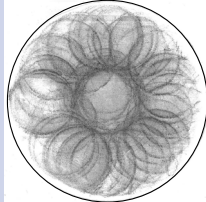
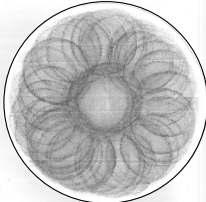
人力式ランマーの性能

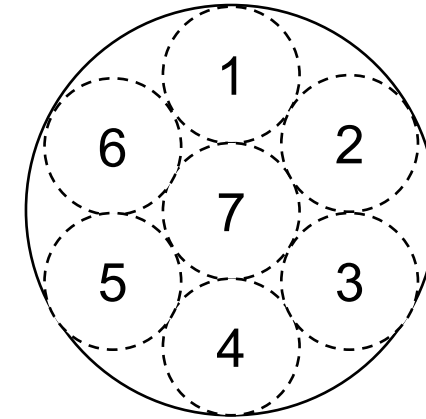


機械式ランマーの性能

- 複数の機関が所有する機械式ランマーの特性を調査
- 締固め時の乾燥密度とCBRに与える影響とその要因について考察

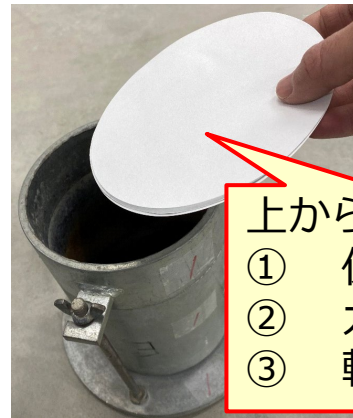
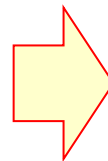


| 条件             | 15cmモールド, 4.5kgランマー<br>突き固め回数67回  |  |   |
|----------------|---|--|---|
| 試験者<br>(試験No.) | 試験者1<br>(AM1)   | 試験者2<br>(AM2)  | 試験者3<br>(AM3)   |
| 打面率            | 91.3%   | 93.6%  | 89.1%   |
| 打撃跡            |  |  |  |

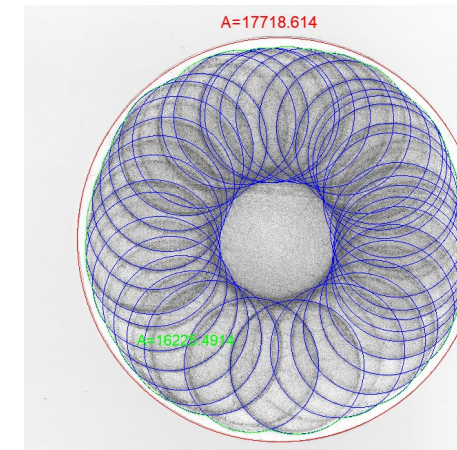


15cmモールドの場合

ゴム板(1cm)



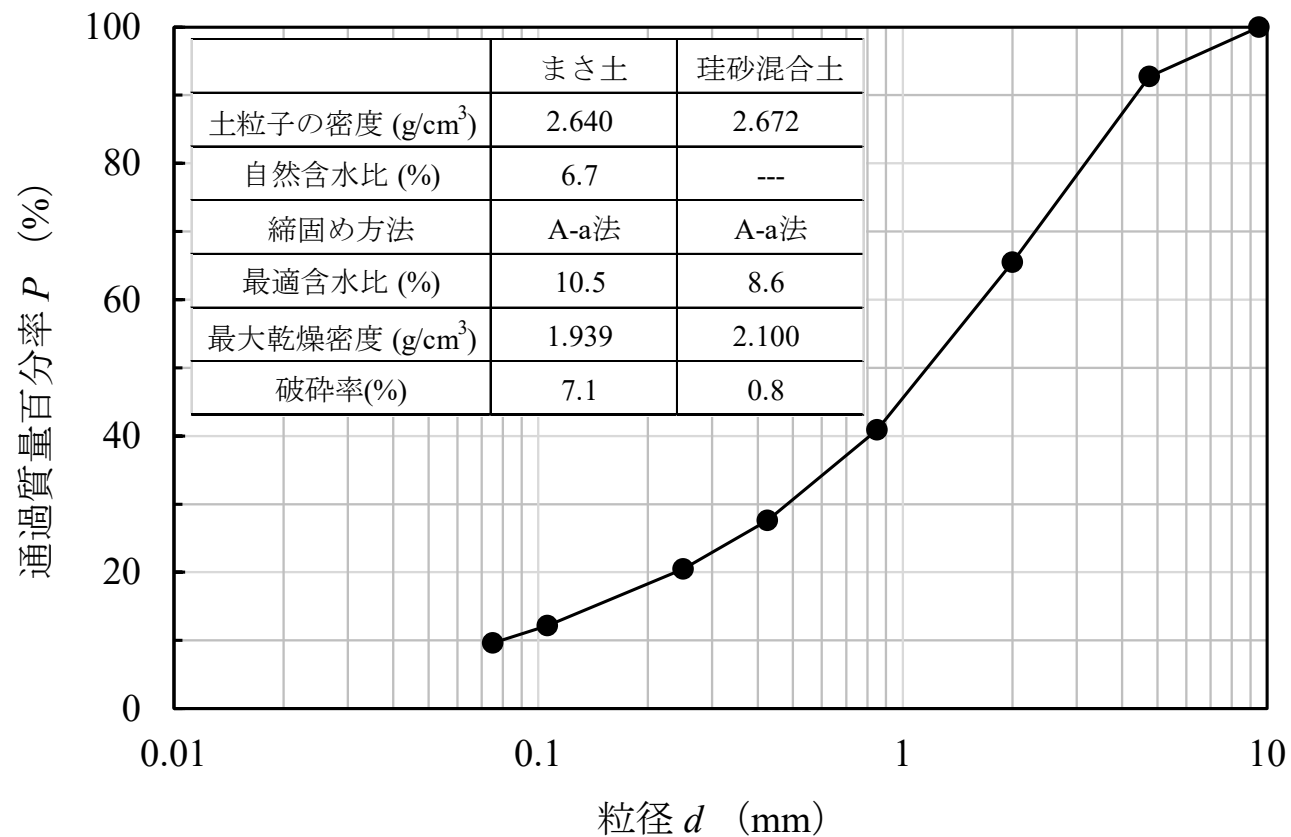
- 上から
- ① 保護用ろ紙
  - ② カーボン紙
  - ③ 転写用ろ紙



$$\text{打撃面積率 (打面率)} = \frac{\text{打撃面積}}{\text{モールド断面積}}$$

## 機械式ランマーのばらつきの検証

➤ 試験試料 … 珪砂混合土（区分①と同じ粒度）






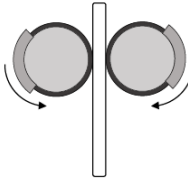
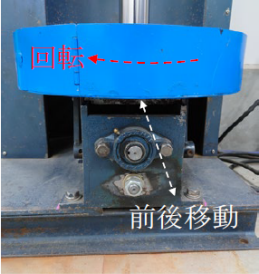
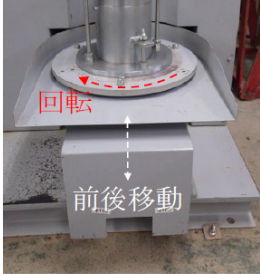
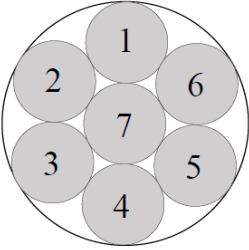
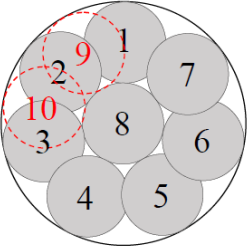
## 機械式ランマーのばらつきの検証

➤ 試験方法 … 【締固め試験】 機関別, 【CBR試験】 A機関

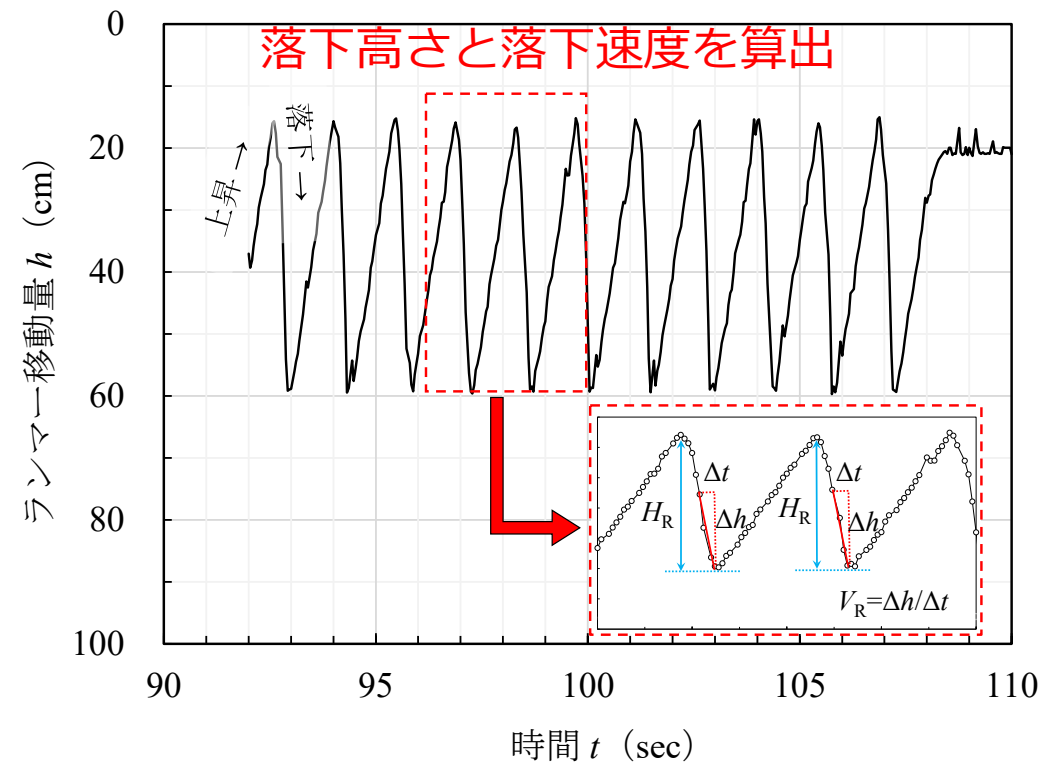
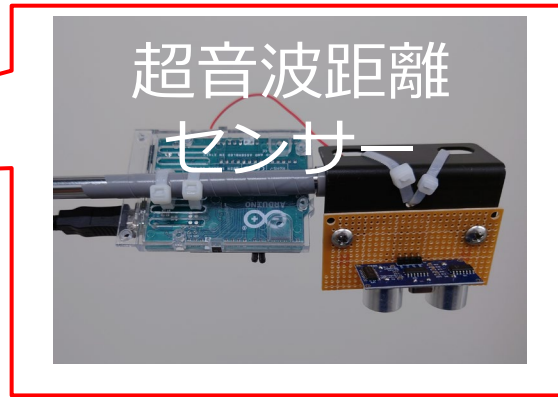
| 試料    | 機関 | 締固め方法 | 測定項目 |      | CBR測定 |
|-------|----|-------|------|------|-------|
|       |    |       | 落下位置 | 落下運動 |       |
| 珪砂混合土 | A  | 人力式   | 測定   | 未測定  | A機関   |
|       | A  | 機械式   | 測定   | 測定   |       |
|       | Ga | 機械式   | 測定   | 測定   |       |
|       | Gb | 機械式   | 測定   | 測定   |       |
|       | H  | 機械式   | 測定   | 測定   |       |
|       | I  | 機械式   | 測定   | 測定   |       |
|       | J  | 機械式   | 測定   | 測定   |       |
|       | K1 | 機械式   | 測定   | 測定   |       |
|       | K2 | 機械式   | 測定   | 測定   |       |

# 機械式ランマーの概要（機構一覧）

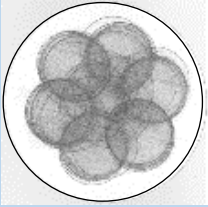
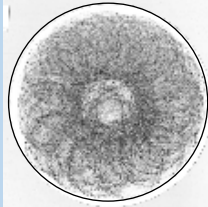
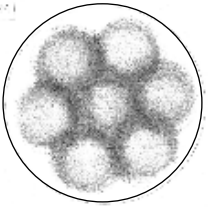
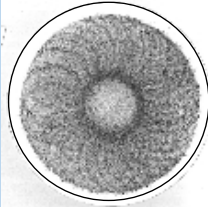
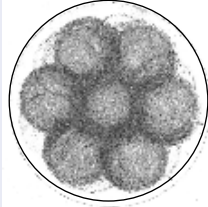
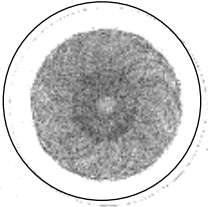
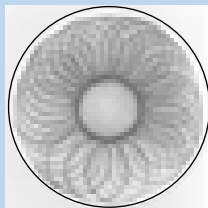
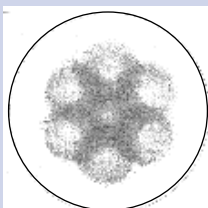
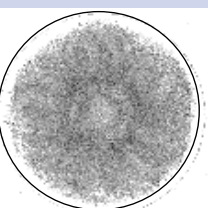
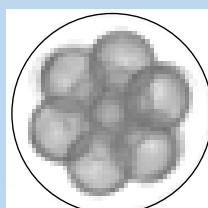
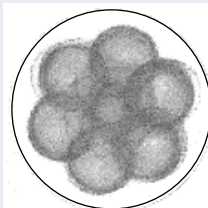
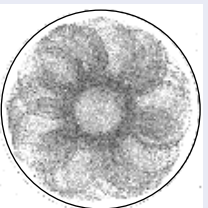
2024.6.6

|                  |              |  |   |   |   |
|------------------|--------------|--|---|---|---|
| ランマー<br>リフト機構    | リフト部<br>(外観) |    |  |    |  |
|                  | ロッド形状        | 角柱   | 円柱  | 角柱（ギア付き）  | —   |
|                  | リフト機構        | 硬質ゴム摩擦   | 硬質ゴム摩擦  | ギア  | —   |
|                  | リフト軸数        | 単軸   | 単軸  | 単軸  | 両軸（参考）  |
| モールド受台<br>移動機構   | 回転台<br>(外観)  |    |   |    |   |
|                  | 回転機構         | ギア   |   | ギア  |   |
|                  | 前後移動         | ギア   |   | エア  |   |
| モールド受台<br>回転パターン | 落下位置         |  |   |  |   |
|                  | 回転角          | 60°（実測）  |   | 52°（実測）～55°（参考）   |   |

## 【落下運動と打撃位置】

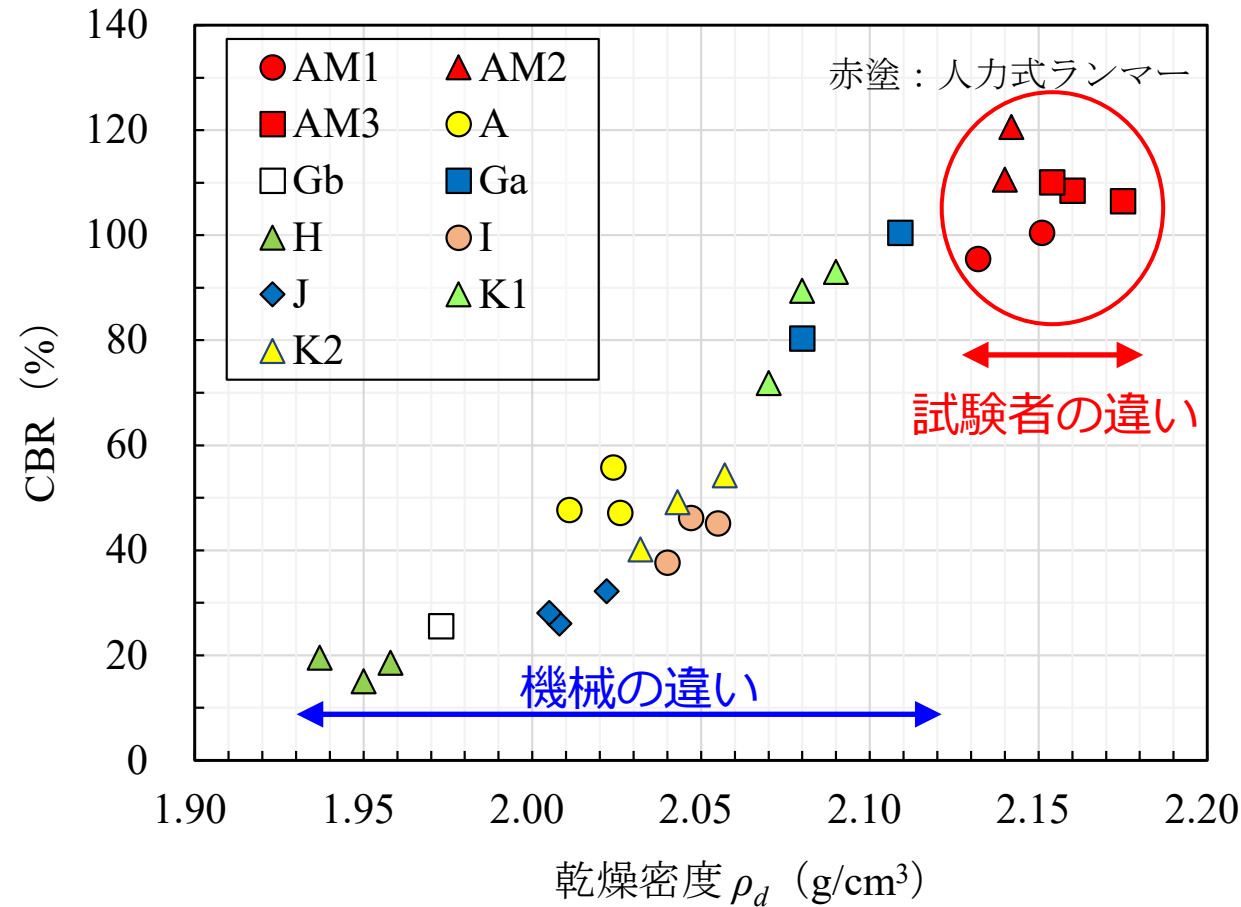


# 各機関の機械式ランマーの特性一覧

| A機関   |            | C機関   |            | D機関   |            |
|---|------------|---|------------|---|------------|
|    | 引ゴム        |    | 引ゴム        |    | 引ギア        |
|   | 移ギア        |   | 移エア        |   | 移ギア        |
|   | 調なし        |   | 調なし        |   | 調なし        |
|   | $A_R=64.2$ |   | $A_R=87.7$ |   | $A_R=78.3$ |
| $V_R=208$   | ----       | ----  |            |   |            |
| $H_R=42.2$  | ----       | ----  |            |   |            |
| E機関   |            | F機関   |            | Gb機関(調整前)   |            |
|    | 引ギア        |    | 引ギア        |    | 引ゴム        |
|   | 移エア        |   | 移ギア        |   | 移エア        |
|   | 調なし        |   | 調なし        |   | 調あり        |
|   | $A_R=78.1$ |   | $A_R=79.2$ |   | $A_R=59.3$ |
| ----  | ----       | $V_R=245$   |            |   |            |
| ----  | ----       | $H_R=43.7$  |            |   |            |
| Ga機関(調整後)   |            | H機関   |            | I機関   |            |
|   | 引ゴム        |   | 引ゴム        |   | 引ゴム        |
|   | 移エア        |   | 移ギア        |   | 移ギア        |
|   | 調あり        |   | 調なし        |   | 調なし        |
|   | $A_R=91.6$ |   | $A_R=45.0$ |   | $A_R=81.4$ |
| $V_R=245$   | $V_R=226$  | $V_R=266$   |            |   |            |
| $H_R=43.7$  | $H_R=42.3$ | $H_R=44.2$  |            |   |            |
| J機関   |            | K1機関  |            | K2機関  |            |
|  | 引ゴム        |  | 引ゴム        |  | 引ギア        |
|   | 移ギア        |   | 移ギア        |   | 移エア        |
|   | 調なし        |   | 調なし        |   | 調なし        |
|   | $A_R=67.3$ |   | $A_R=79.3$ |   | $A_R=84.5$ |
| $V_R=213$   | $V_R=214$  | $V_R=187$   |            |   |            |
| $H_R=41.7$  | $H_R=38.4$ | $H_R=37.3$  |            |   |            |

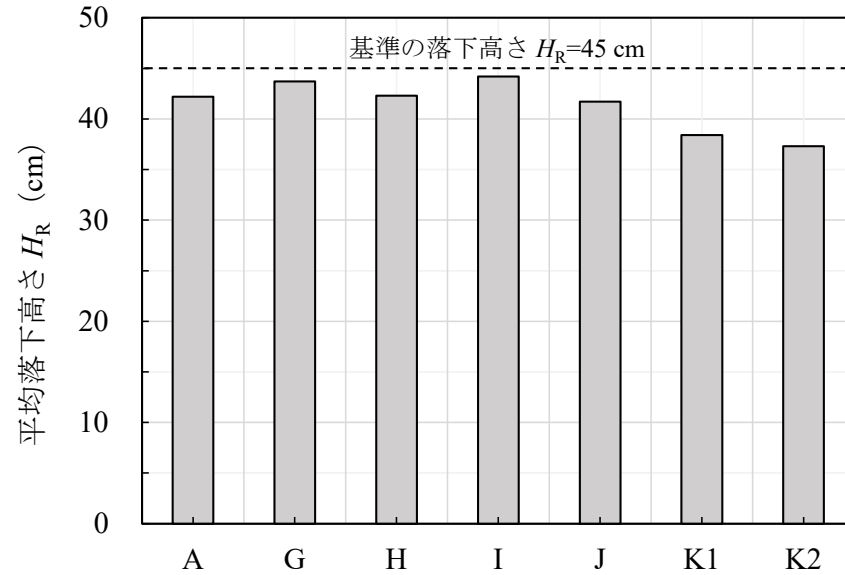
# 締固め密度のばらつきがCBRに与える影響

## 【試験区分②】 乾燥密度とCBRの関係

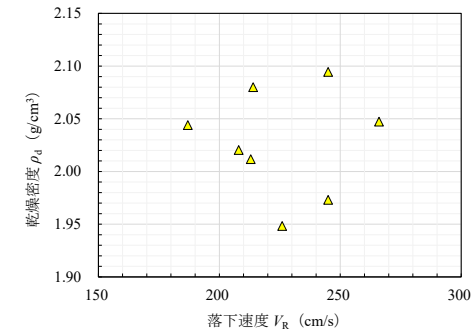
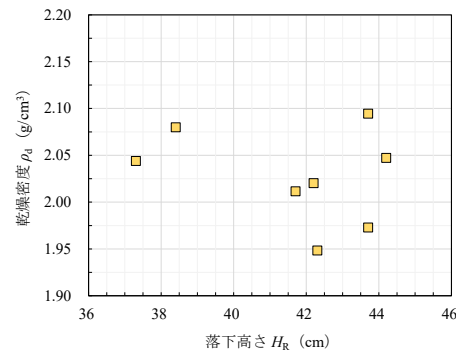
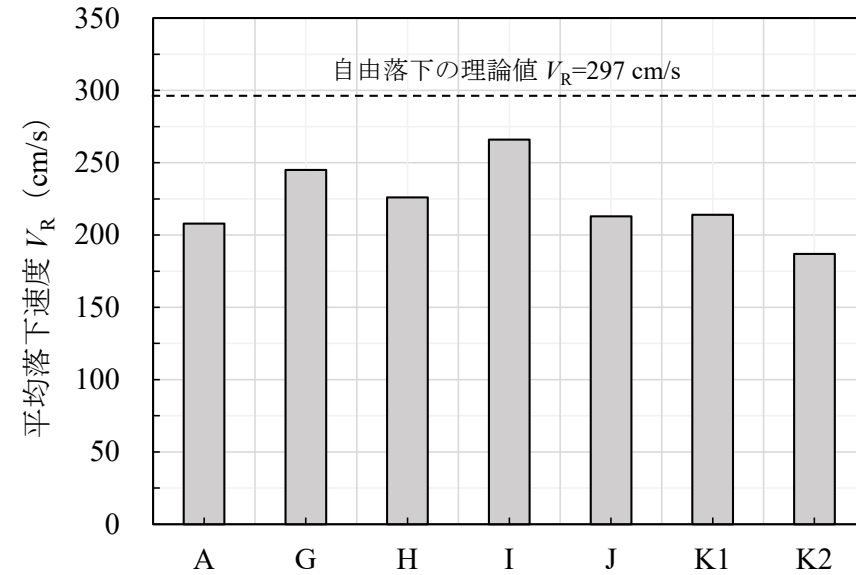


機械式から得られた乾燥密度 < 人力式から得られた乾燥密度

## ランマー落下高さ



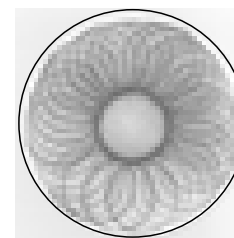
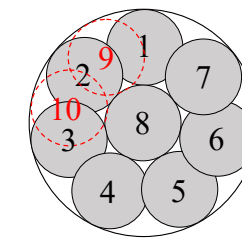
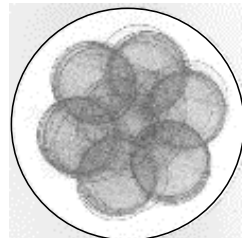
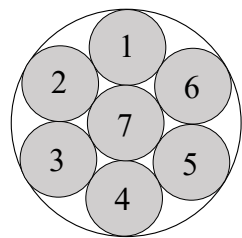
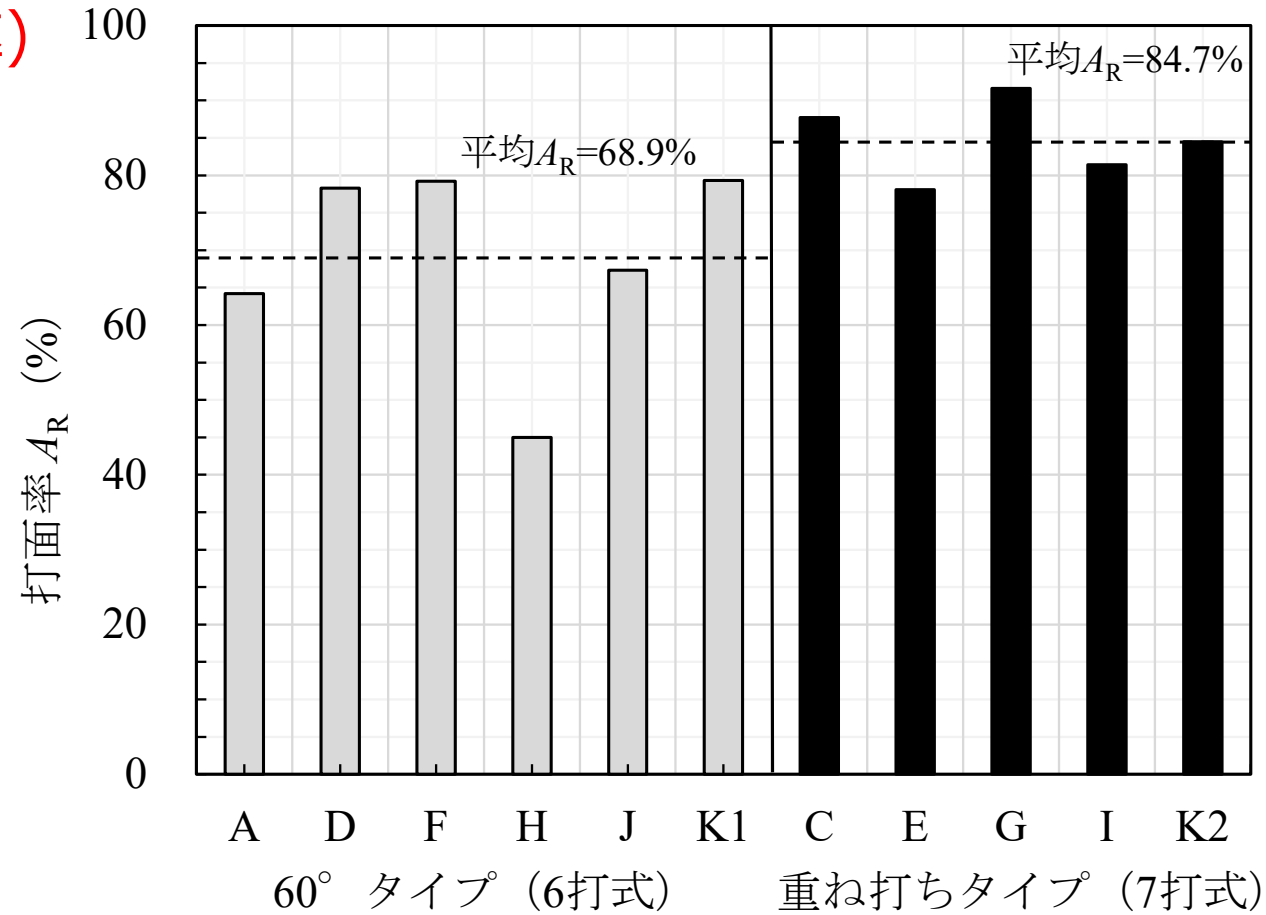
## ランマー落下速度



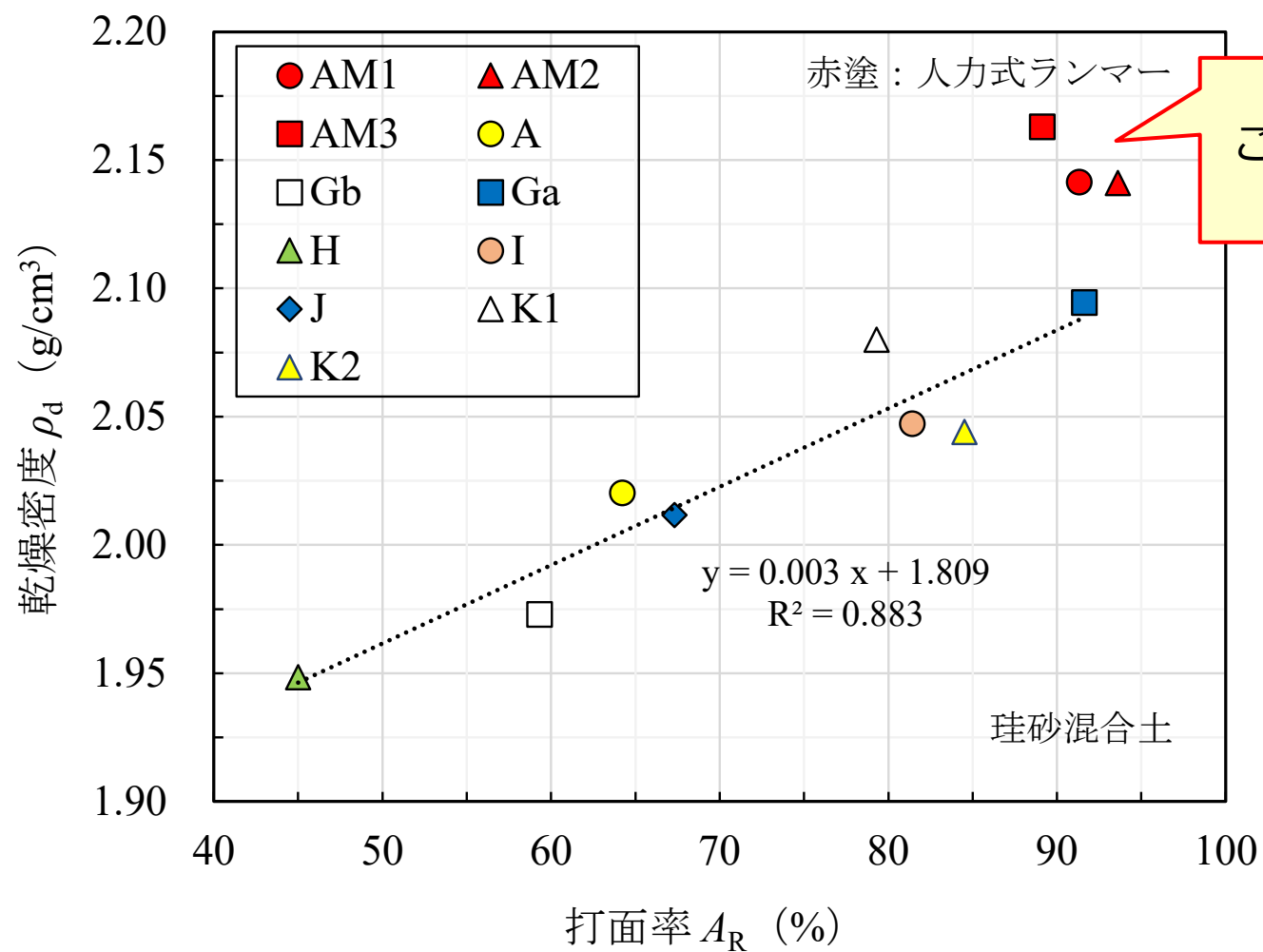
➡ 落下運動の違いが乾燥密度に与える影響は小



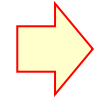
## 打撃面積 (打面率)



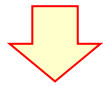
## 【試験区分②】 打面率と乾燥密度の関係



打面率の向上が鍵

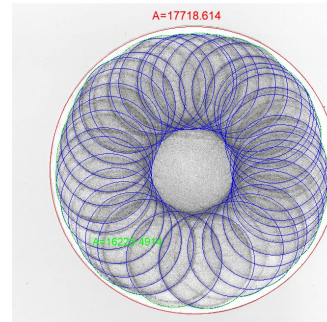


迅速かつ簡易な打面率の測定が必要

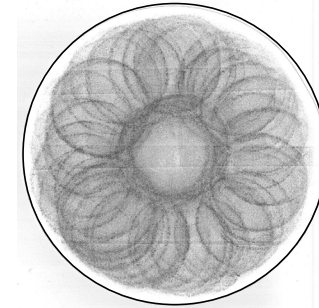


今回の11機種中  
打撃位置の調整機能  
付きは**1機種のみ**

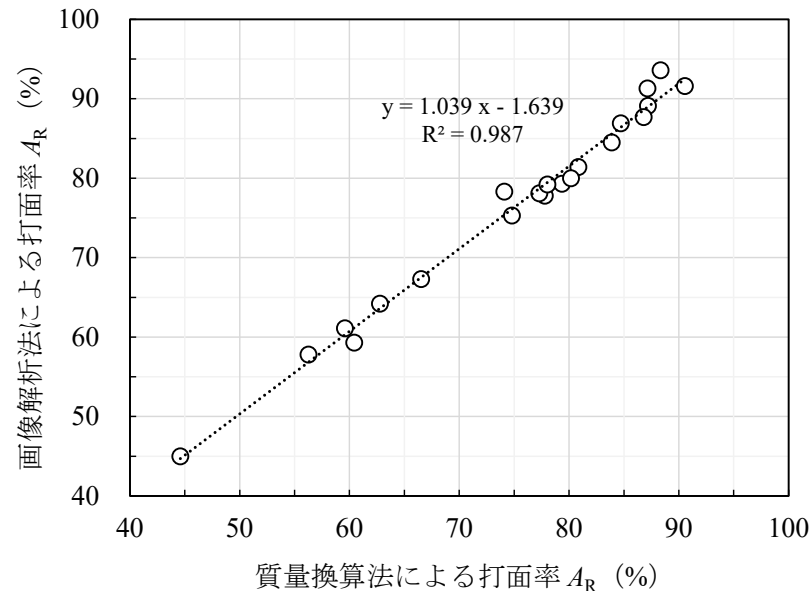
メーカー等への調整依頼となる



画像解析



打撃痕を切り取り重量測定



打面率は85%以上  
が望ましい

11機種 of 機械式ランマーの特性を調べ、機種の違いが締固め時の乾燥密度と剛性(CBR)に与える影響を検討した

- 同一の締固め条件であっても機種によって乾燥密度の変動が大きく剛性評価にも影響を与えている
- 締固め時の乾燥密度は人力式ランマーが最大となる
- 機械式ランマーの乾燥密度が低くなる原因は、打撃面積率である
- 打撃面積を簡易に測定する方法を提案した

機械式ランマーの要求性能を試験法へ記載するべき

CBRのばらつきに関する一斉試験：

川端伸一郎，関根悦夫，山中光一，木幡行宏

土木学会第76回年次学術講演会，V-462，2021.

締固め試験における機械式ランマーが土の乾燥密度と剛性評価に与える影響：

川端伸一郎，松田圭大，三浦亨，畑山良二，山中光一，関根悦夫

土木学会論文集C，Vol.78，No.3，pp.225-234，2022.

## 「舗装材料の特性と評価」に関する報告会

# CBRと弾性係数の関係式 に関する検討

2024.6.6

路床・路盤分科会 池田 茜

- 1. 試験概要
- 2. 試験結果
  - 2-1. レジリエントモデュラス試験
  - 2-2. 三軸圧縮試験
- 3.  $M_r$ 試験と三軸圧縮試験について
- 4. CBR試験と $M_r$ 試験について（CBRと $M_r$ の関係）

## ▶使用材料

まさ土（砂質土）

土粒子密度  $\rho_s$  : 2.640 g/cm<sup>3</sup>  
 最大乾燥密度  $\rho_{dmax}$  : 1.939 g/cm<sup>3</sup>  
 最適含水比  $w_{opt}$  : 10.5 %

## ▶試験条件

|       | M <sub>r</sub> 試験                              | 三軸圧縮試験                                     |
|-------|--|--|
| 載荷条件  | ハーバーサイン波（載荷0.1秒，休止0.9秒）<br>「舗装調査・試験法便覧E016」に準拠 | 載荷速度 1.0mm/min<br>「地盤工学会基準JGS0522-2020」に準拠 |
| 排水条件  | 圧密非排水（CU）                                      |  |
| 拘束圧   | 41.4 kPa, 27.6 kPa, 13.8 kPa                   |  |
| 供試体寸法 | 直径：φ100mm，高さ：200 mm                            | 直径：φ50 mm，高さ：100 mm                        |

## ▶供試体条件

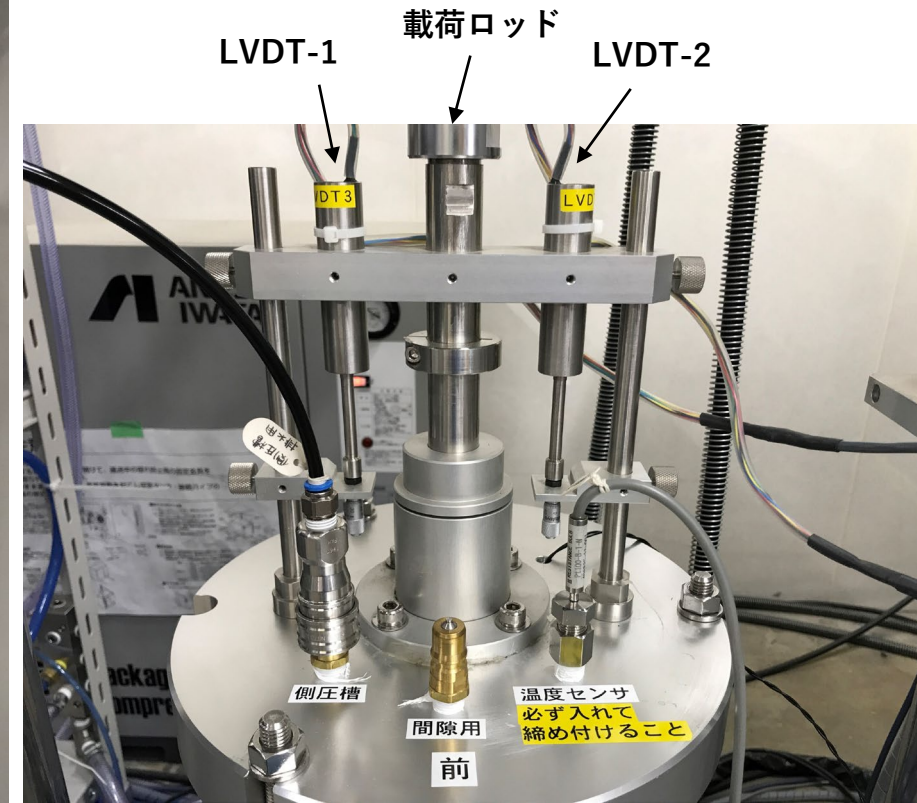
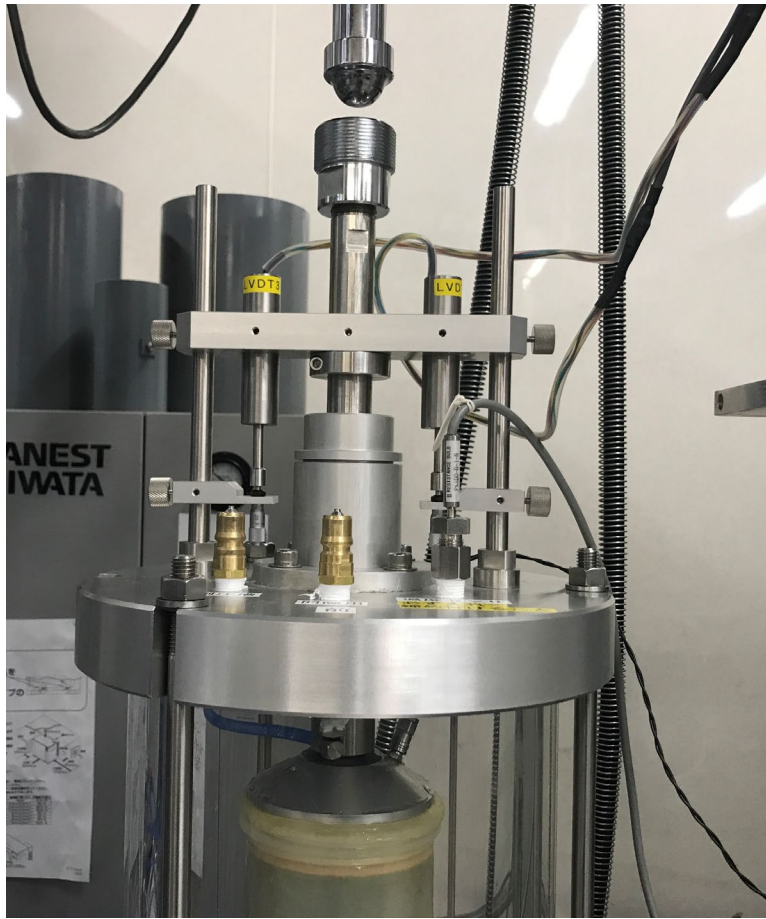
| 条件 | 設定                           |            | 供試体                          |            |                              |            |
|----|------------------------------|------------|------------------------------|------------|------------------------------|------------|
|    | 乾燥密度<br>[g/cm <sup>3</sup> ] | 含水比<br>[%] | M <sub>r</sub> 試験            |            | 三軸圧縮試験                       |            |
|    |                              |            | 乾燥密度<br>[g/cm <sup>3</sup> ] | 含水比<br>[%] | 乾燥密度<br>[g/cm <sup>3</sup> ] | 含水比<br>[%] |
| ①  | 1.940                        | 6.7        | 1.914                        | 6.5        | 1.960                        | 5.3        |
| ②  | 1.880                        | 12.0       | 1.892                        | 11.3       | —                            | —          |
| ③  | 1.880                        | 6.7        | 1.883                        | 6.6        | 1.888                        | 6.0        |



# 1. 試験概要

2024.6.6

## ▶ $M_r$ 試験



試験機（载荷ロッド & LVDT）

LVDT-1 载荷ロッド LVDT-2

側圧槽  
間隙用  
温度センサ  
必ず入れて  
締め付けること  
前

## ▶ $M_r$ 試験結果 (整理方法)

【例：供試体条件①】

$\sigma_d = 1.914 \text{ g/cm}^3$ ,  $\omega = 6.5 \%$   
(最大乾燥密度 / 自然含水比)

【試験条件】

拘束圧 : 41.4 kPa

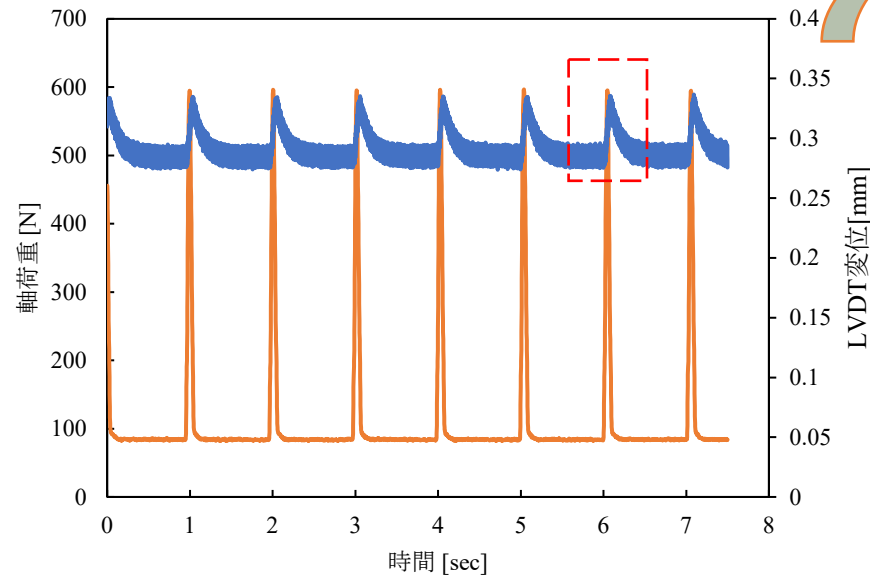
偏差応力 : 68.9 kPa

◆算出式

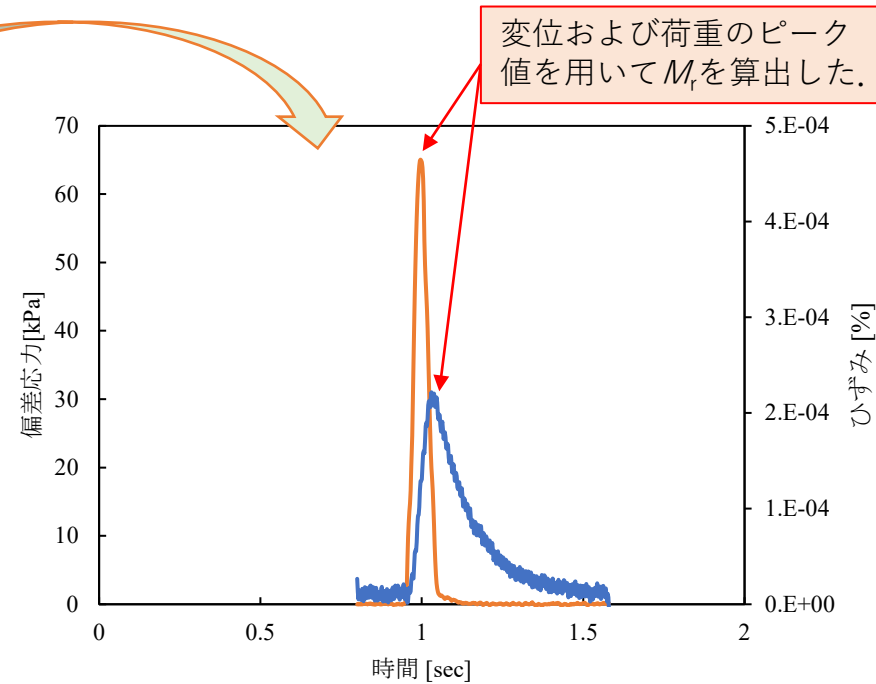
$$M_r = \frac{\sigma_d}{\epsilon_r}$$

$M_r$  : レジリエントモデュラス [MPa]  
 $\sigma_d$  : 偏差応力 ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) [kPa]  
 $\sigma_1$  : 第1主応力 (軸応力) [kPa]  
 $\sigma_3$  : 第3主応力 (拘束圧) [kPa]  
 $\epsilon_r$  : 鉛直復元ひずみ

「舗装調査・試験法便覧E016」より



— 軸荷重 — LVDT変位

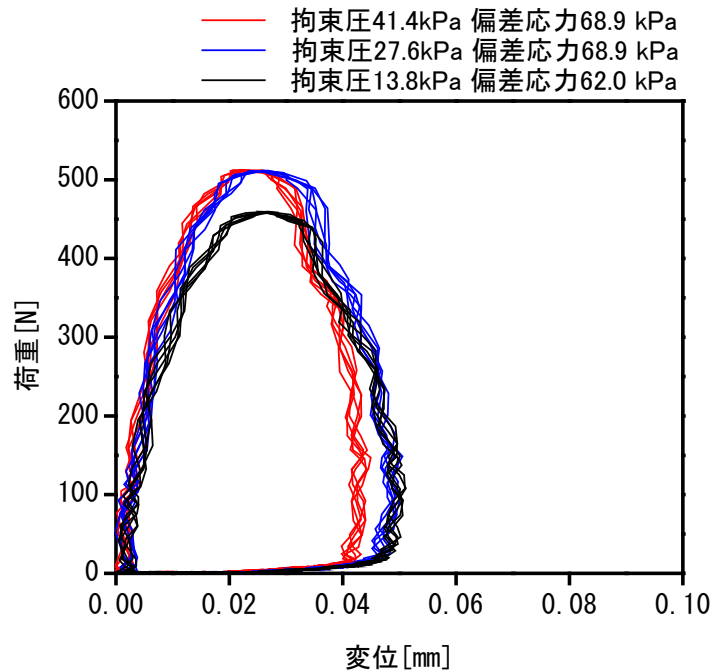


— 軸荷重 — LVDT変位

## ▶ $M_r$ 試験結果

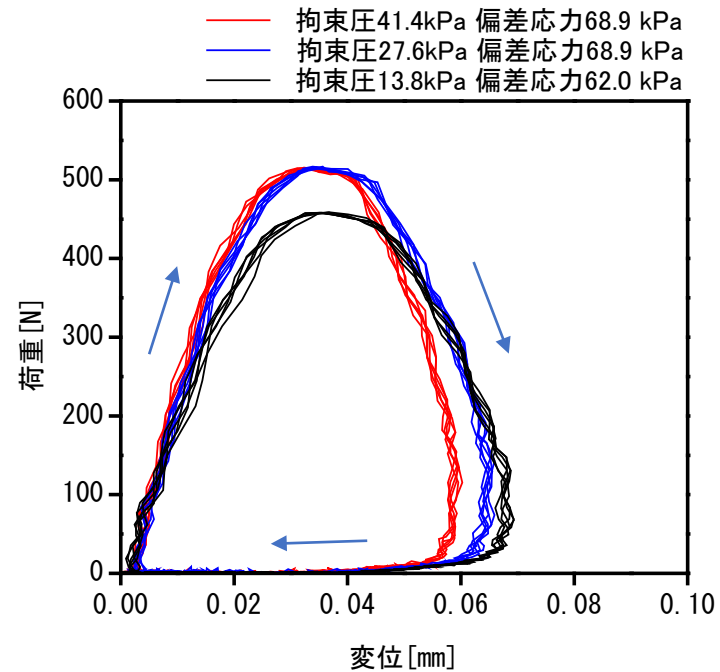
条件①

$$\sigma_d = 1.914 \text{ g/cm}^3, \quad \omega = 6.5 \%$$



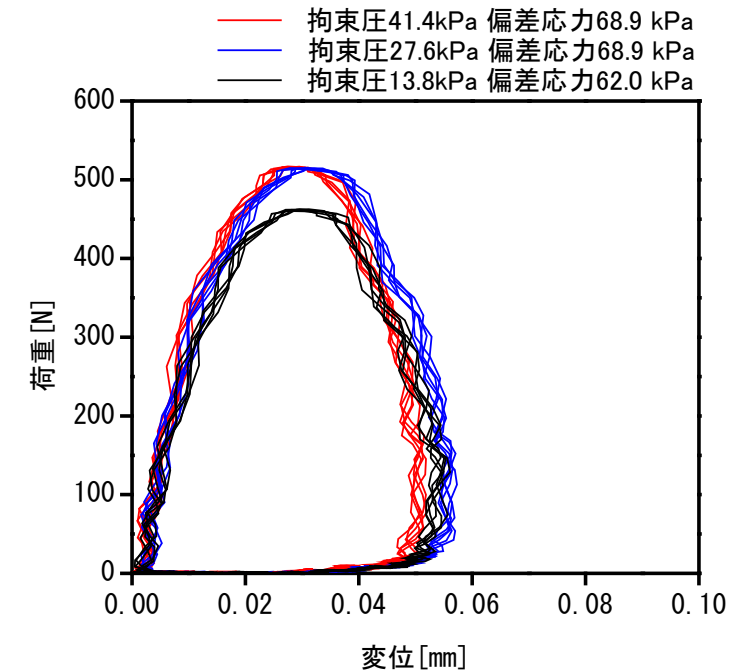
条件②

$$\sigma_d = 1.892 \text{ g/cm}^3, \quad \omega = 11.3 \%$$



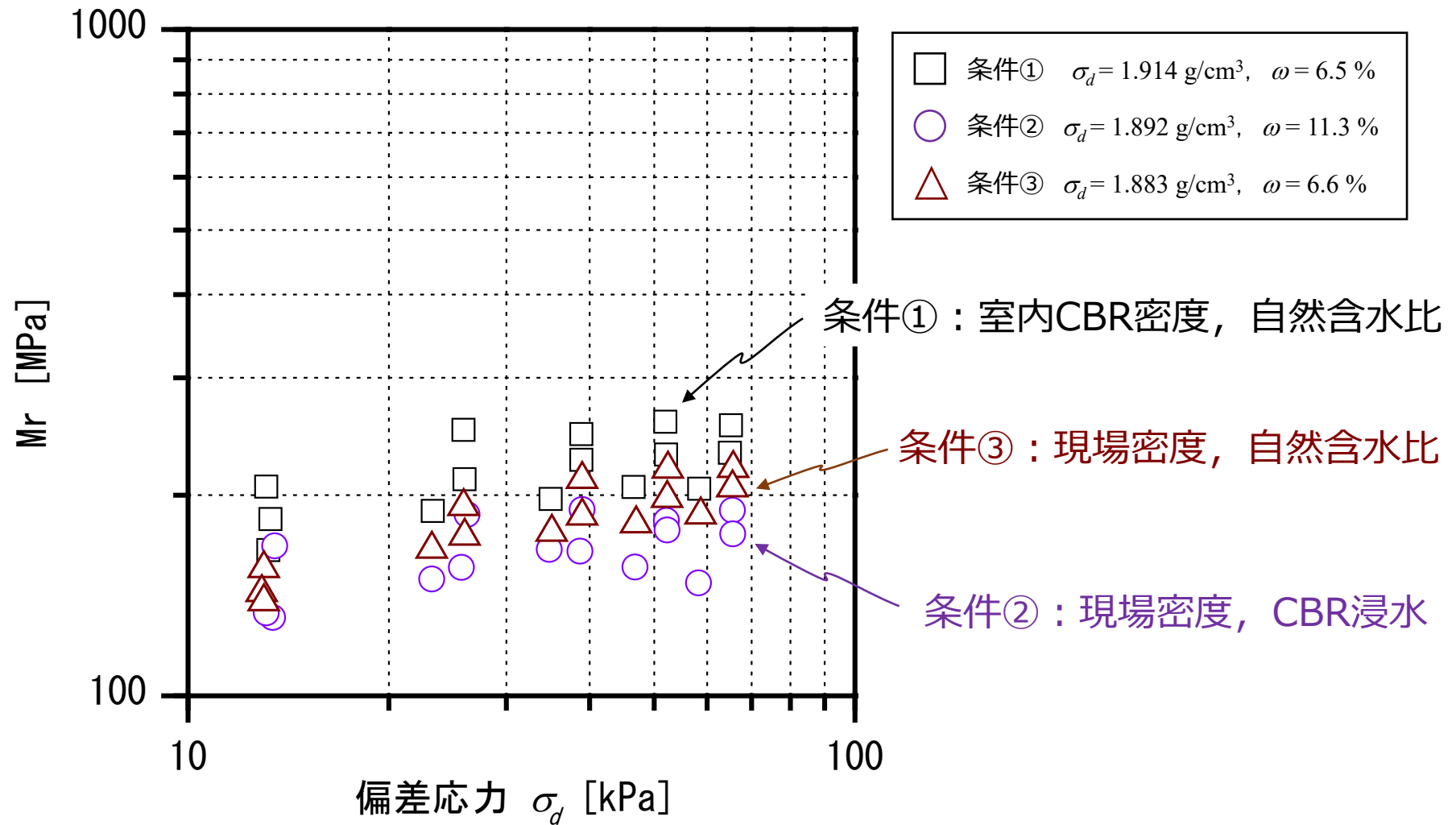
条件③

$$\sigma_d = 1.883 \text{ g/cm}^3, \quad \omega = 6.6 \%$$



荷重と変位の最大値のみを用いて、 $M_r$ を算出してよいのか？  
⇒  $M_r$ の算出方法を検討する必要がある。

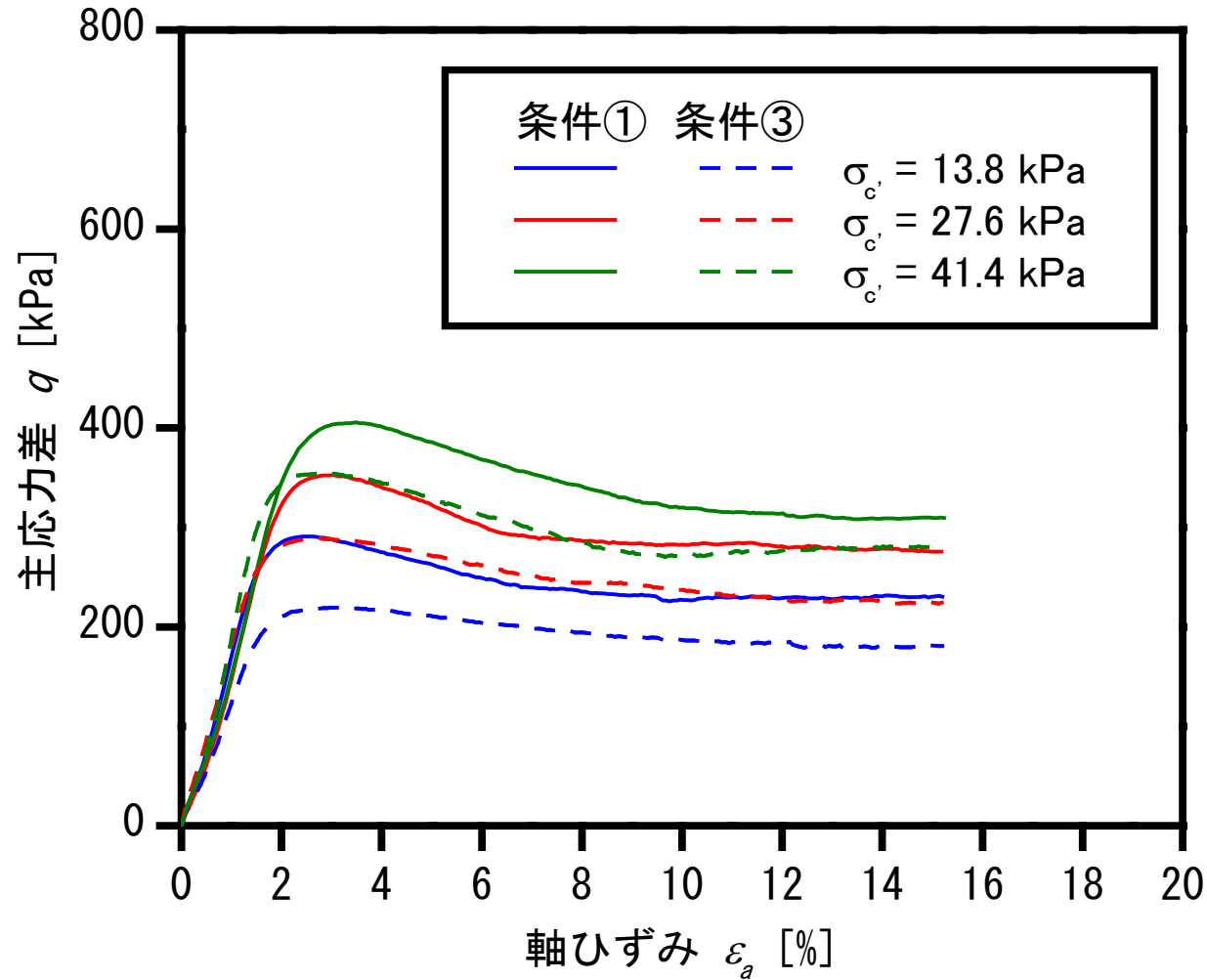
▶  $M_r$  試験結果



【結果】

- ・乾燥密度の増加に伴い,  $M_r$ は増加する。(条件① > 条件③)
- ・含水比の上昇に伴い,  $M_r$ は減少する。(条件③ > 条件②)

## ▶三軸圧縮試験結果

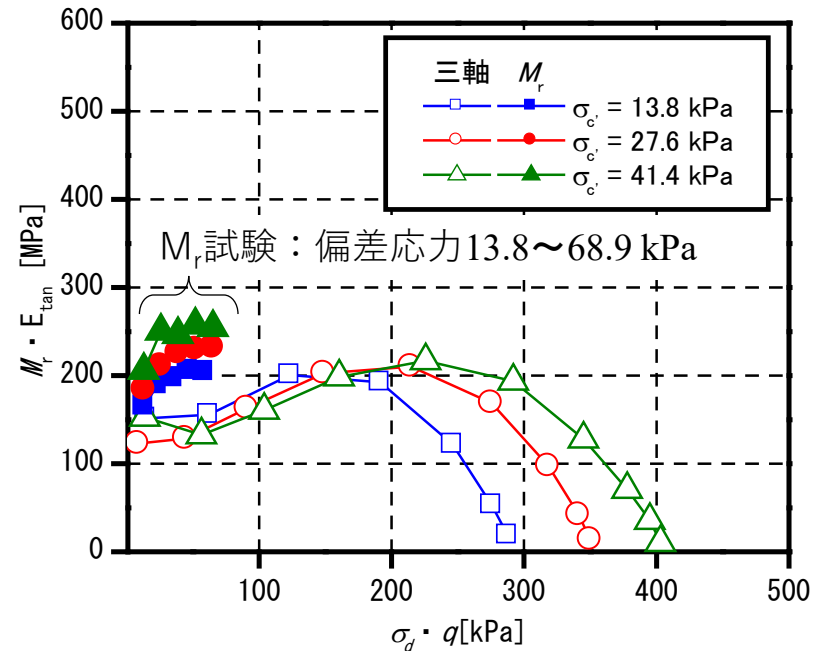


条件①  $\sigma_d = 1.914 \text{ g/cm}^3, \omega = 6.5 \%$   
条件③  $\sigma_d = 1.883 \text{ g/cm}^3, \omega = 6.6 \%$

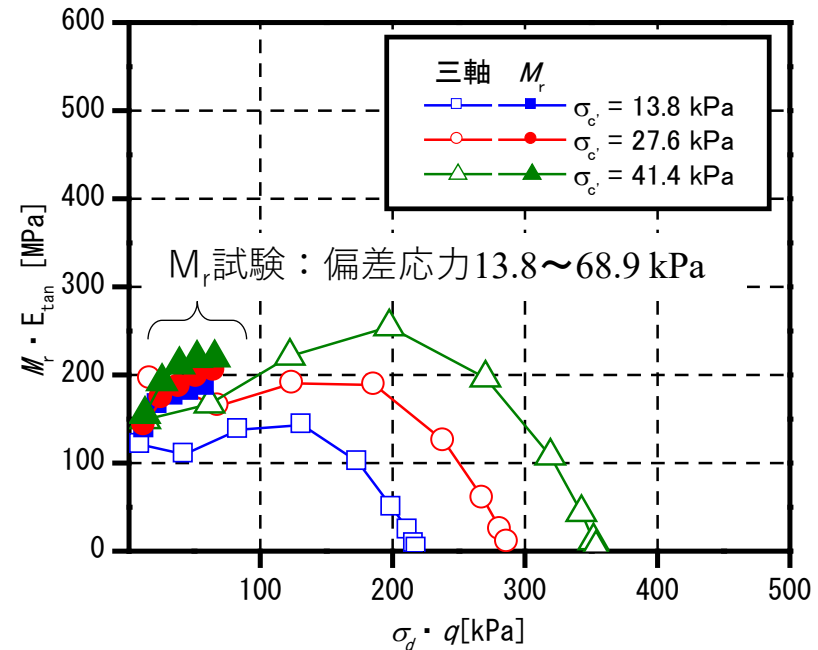
【結果】  
乾燥密度の増加に伴い、主応力差は増加する。  
(条件① > 条件③)

# 3. Mr試験と三軸圧縮試験について

◆ 偏差応力  $\sigma_d \sim M_r$  主応力差  $q \sim$  接線変形係数  $E_{tan}$



条件①： $\rho_d = 1.940$  g/cm<sup>3</sup>,  $\omega$  = 自然含水比



条件③： $\rho_d = 1.880$  g/cm<sup>3</sup>,  $\omega$  = 自然含水比

## 【結果】

- $M_r$ 試験の偏差応力  $\Rightarrow$  三軸圧縮試験の荷重応力範囲に比べて、極めて小さい。
- $M_r$ 試験と三軸圧縮試験の変形特性 ( $M_r$ ,  $E_{tan}$ )  $\Rightarrow$  ほぼ同程度である。
- $M_r$ と同等の変形特性  
 $\Rightarrow$  単調荷重の三軸圧縮試験で把握できる可能性が示唆された。

※注意※軸ひずみの測定を厳密に行うこと。

# 4. CBRと弾性係数の関係

## ■設計交通量区分ごとの $M_r$ 算出

### ▶Point

- ・同一材料でも舗装内部の応力状態によって、 $M_r$ は異なる。
- ・ $M_r$ を設計交通量区分ごとに算出した。

### ▶解析手法

非線形弾性解析手法

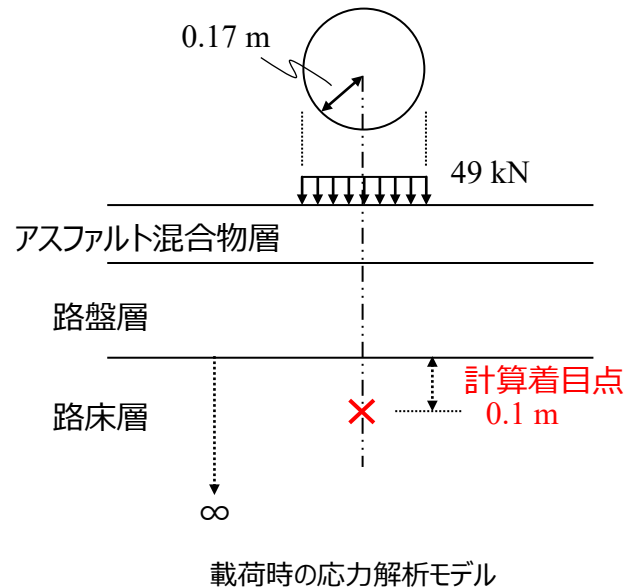
### ▶使用モデル

MEPDG一般化モデル

### 【MEPDG一般化モデル】

$$M_r = k_1 \cdot p_a \left( \frac{\theta}{p_a} \right)^{k_2} \left( \frac{\tau_{oct}}{p_a} + 1 \right)^{k_3}$$

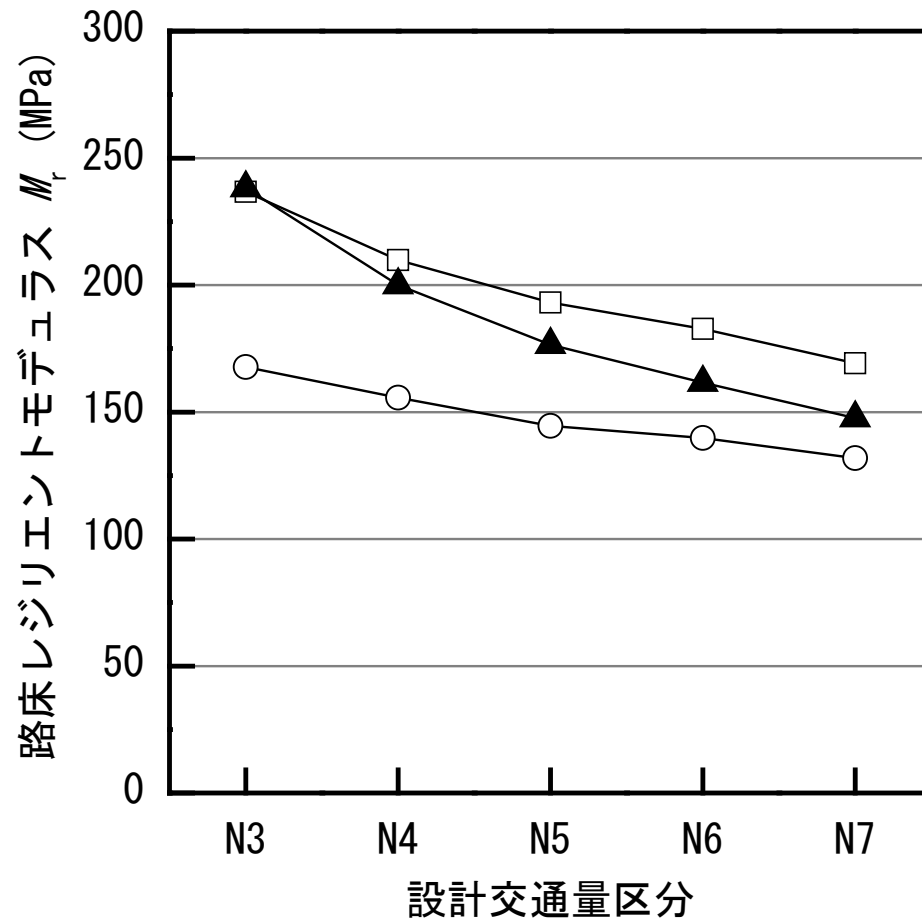
$\theta$  : 主応力和  
 $\tau_{oct}$  : 八面体せん断応力  
 $\sigma_d$  : 偏差応力  
 $p_a$  : 大気圧 (=101.3kPa)  
 $k_1 \sim k_3$  : 材料定数



舗装断面と各層の入力値

| 設計交通量区分 |     | N <sub>3</sub>                              | N <sub>4</sub> | N <sub>5</sub> | N <sub>6</sub> | N <sub>7</sub> |
|---------|-----|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 表・基層    | 層厚  | 5 cm  | 5 cm           | 10 cm          | 10 cm          | 15 cm          |
|         | 入力値 | E=10000 MPa, v=0.35, γ=23 kN/m <sup>3</sup> |                |                |                |                |
| 瀝青安定処理  | 層厚  | -   | -              | -              | 8 cm           | 8 cm           |
|         | 入力値 | E=6000 MPa, v=0.35, γ=23 kN/m <sup>3</sup>  |                |                |                |                |
| 粒度調整砕石  | 層厚  | 10 cm                                       | 10 cm          | 10 cm          | -              | -              |
|         | 入力値 | E=600 MPa, v=0.4, γ=19 kN/m <sup>3</sup>    |                |                |                |                |
| クラッシュラン | 層厚  | 10 cm                                       | 20 cm          | 15 cm          | 15 cm          | 20 cm          |
|         | 入力値 | E=200 MPa, v=0.4, γ=18 kN/m <sup>3</sup>    |                |                |                |                |

# 4. CBRと弾性係数の関係



□ 条件①  $\sigma_d = 1.914 \text{ g/cm}^3$ ,  $\omega = 6.5 \%$   
 ○ 条件②  $\sigma_d = 1.892 \text{ g/cm}^3$ ,  $\omega = 11.3 \%$   
 ▲ 条件③  $\sigma_d = 1.883 \text{ g/cm}^3$ ,  $\omega = 6.6 \%$

## Point

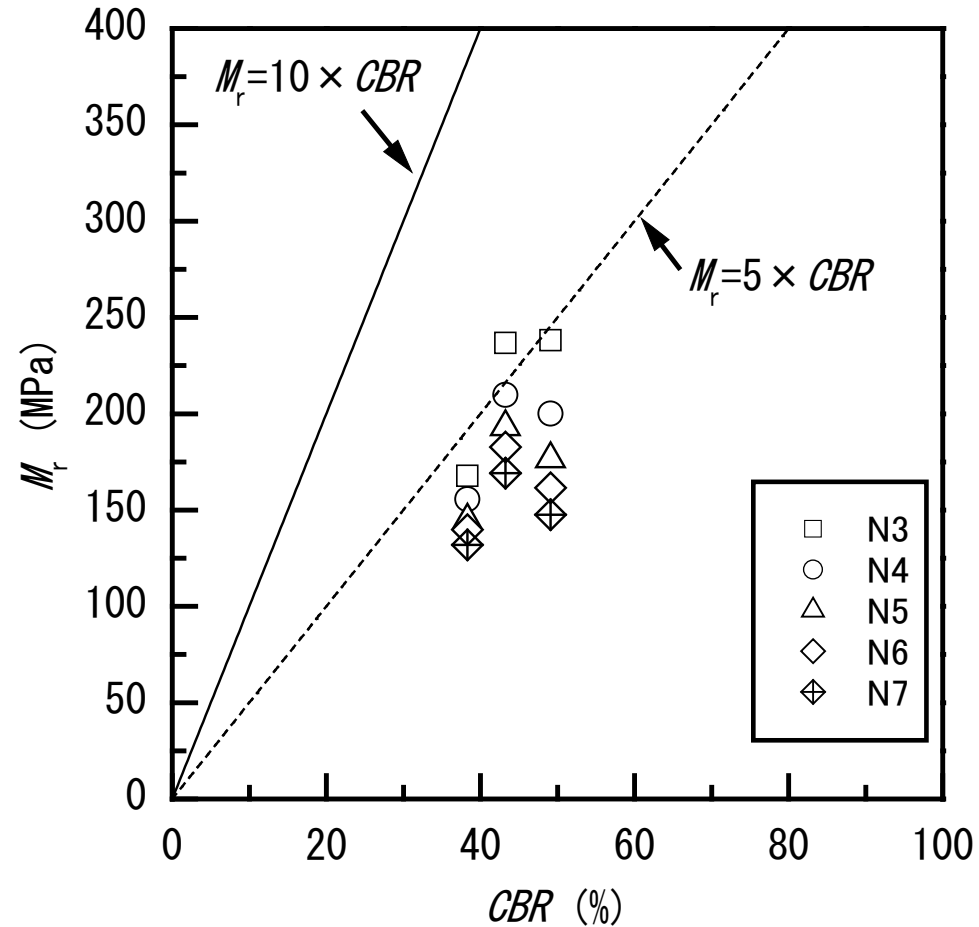
路床の弾性係数は $10 \times \text{CBR}$ より算出した一定値ではなく、計画交通量（舗装厚）によって変化することを考慮して、舗装断面を設計する必要がある。

## 【結果】

- ・ 乾燥密度と含水比条件によらず、設計交通量が多くなる、すなわち舗装が厚くなるにつれて $M_r$ が小さくなる。
- ・  $M_r$ 試験結果より、偏差応力と $M_r$ が比例関係を示したため、既往の研究とは異なる傾向であった。



# 4. CBRと弾性係数の関係



| 計画交通量区分        | 相関式                      | 決定係数 $R^2$ |
|----------------|--------------------------|------------|
| N <sub>3</sub> | $M_r = 4.9345 \cdot CBR$ | 0.9928     |
| N <sub>4</sub> | $M_r = 4.3253 \cdot CBR$ | 0.9929     |
| N <sub>5</sub> | $M_r = 3.9247 \cdot CBR$ | 0.9906     |
| N <sub>6</sub> | $M_r = 3.6873 \cdot CBR$ | 0.9884     |
| N <sub>7</sub> | $M_r = 3.4127 \cdot CBR$ | 0.9872     |

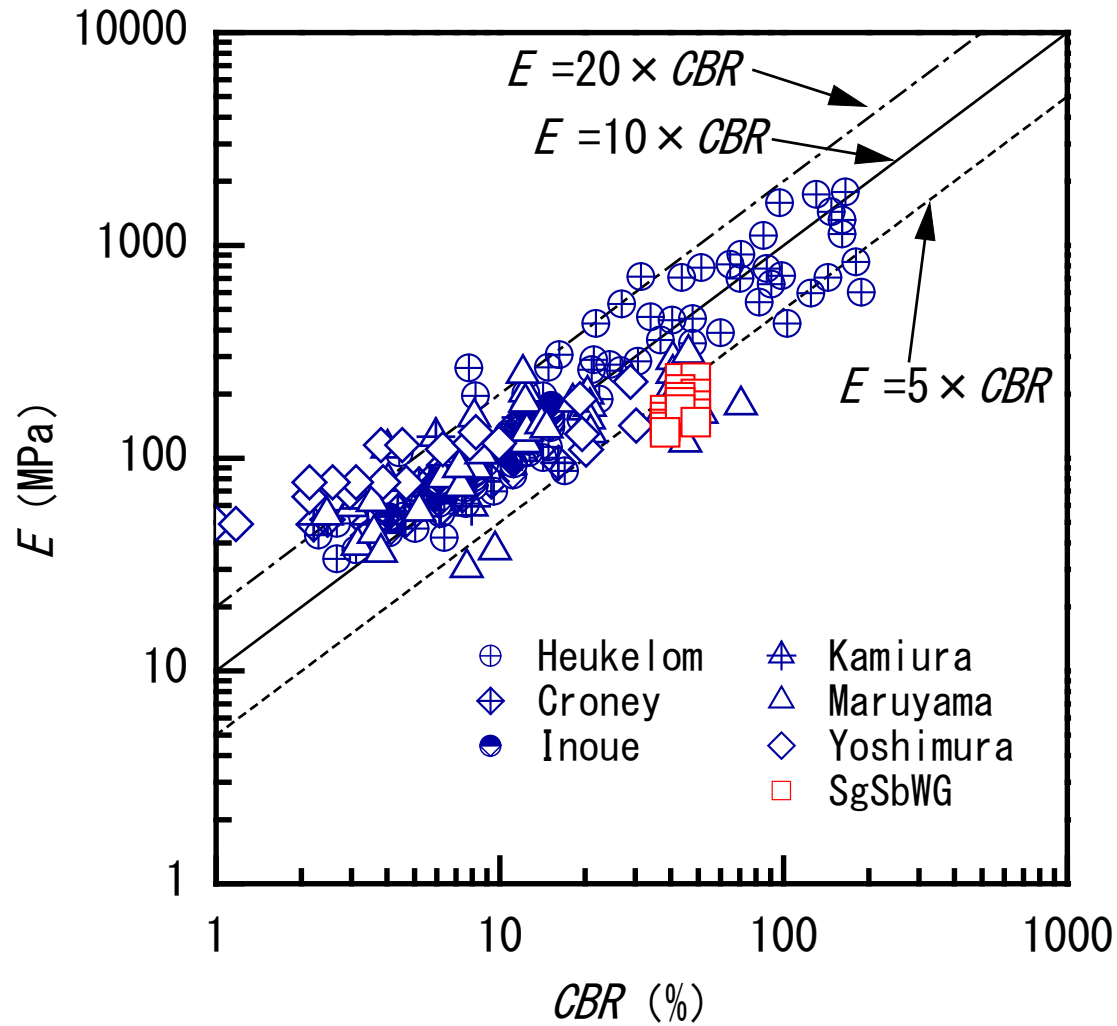
( $38.3 \leq CBR \leq 49.1$ )

## ► Point

$E = 10 \times CBR$ より算出した弾性係数を用いて舗装厚を設計した場合、路床の弾性係数が大きく見積もられ、舗装厚さは必要厚さより薄い設計となってしまう。

## 【結果】

- 本研究で用いた材料のCBRと $M_r$ の関係は、 **$3.5 \sim 5.0 \times CBR$** であった。  
(CBRの範囲が39~50 %の場合)



### 【結果】

弾性係数は、 $5 \times CBR \sim 20 \times CBR$ の回帰線の範囲内に広く分布している。

CBRが20%以上の場合、 $5 \times CBR$ の回帰線に近づく傾向は、既往の研究と同様の傾向であった。

【参考文献】竹内康, 毛世華, 岡澤宏, 木幡行宏, 西澤辰男: 信頼性を考慮した路床弾性係数の簡易算出式の提案, 土木学会論文集E1 (舗装工学), Vol.67, No.3, I\_95-I\_101, 2011.

- $M_r$ と三軸圧縮試験の変形特性は同様の傾向を示し、路床の変形特性は、単調載荷の三軸圧縮試験で把握できる可能性が示唆された。
- $CBR$ から $M_r$ を推定する場合には乾燥密度や含水状態を十分に考慮することが重要である。
- $CBR$ が20%以上の場合、 $5 \times CBR$ の回帰線に近づく傾向は、既往研究と同様の傾向であった。
- 路床の弾性係数は $10 \times CBR$ より算出した一定値ではなく、計画交通量（舗装厚）によって変化することを考慮して、舗装断面を設計する必要がある。

- ・池田茜，若月洋朗，川端伸一郎，関根悦夫：路床材料のレジリエントモデュラスに関する一考察，土木学会 第76回 年次学術講演会，2021.
- ・池田茜，川端伸一郎，関根悦夫，木幡行宏，山中光一，若月洋朗：路床材料の強度・変形特性に関する一斉試験，雑誌舗装，Vol.57，No.4，pp.9-13，2022.
- ・池田茜，山中光一，竹内康，川端伸一郎，関根悦夫：路床CBRと弾性係数の関係式に関する検討，土木学会論文集E1（舗装工学）Vol.78，No.2，pp.I\_240-I\_247，2023.

## 「舗装材料の特性と評価」に関する報告会

# 小型FWD一斉試験によるK値の ばらつきに関する検討

2024.6.6

路床・路盤分科会 木幡 行宏（室蘭工業大学）

▶ 小型FWD → 近年、地盤の支持力などの剛性評価に広く使用

鉄道分野 → 地盤の剛性評価に関して平板載荷試験を補完する形で使用



鉄道構造物等設計標準に記載

→ 各機関で保有する小型FWD試験装置や試験者による試験結果のばらつきや要因に関する検討は、あまり行われていない



試験機毎のバラツキや問題点などを再度確認すること

NPO法人舗装診断研究会  
舗装診断装置検証委員会 小型FWD検証分科会

目的：「地盤の剛性」の測定試験機として小型FWDによる  
試験結果の評価や検証

実物大の模型地盤を作製 → 小型FWDによる一斉試験を実施

本研究では、このうち小型FWDによるK値のばらつきの要因  
に着目して検討

- 試験の目的

試験機毎のバラツキや問題点などを再度確認すること

- 実施日

2018年11月1日（木）

午前：10:00～13:00, 午後：13:30～16:30

- 試験場所

大成ロテック株式会社 技術研究所構内

- 参加機関：8機関



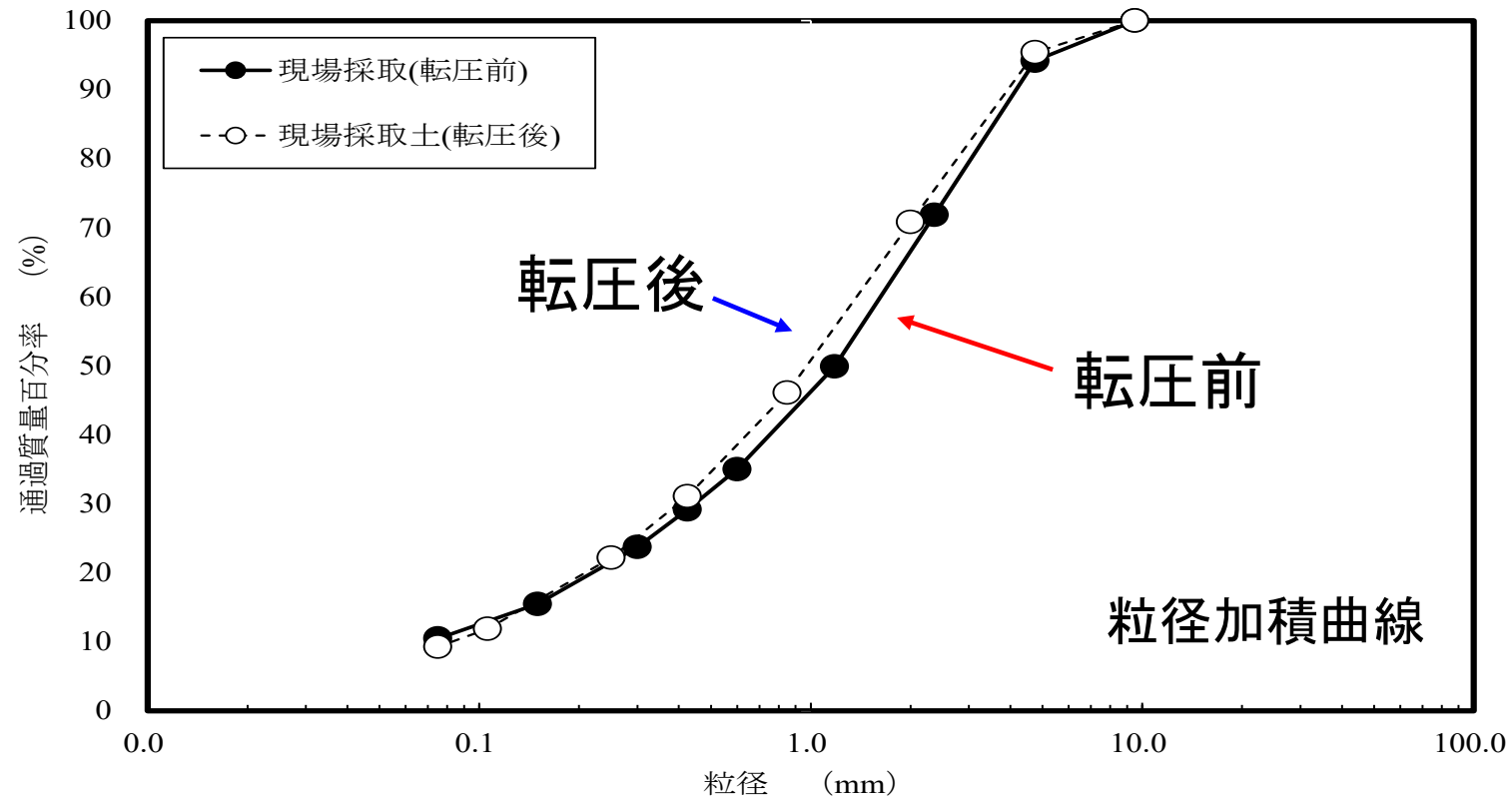
## • 試験スケジュール

2018年

- 10月29日(月) 模型地盤の作製のため既設地盤の掘削  
→ 掘削後の既設地盤にて小型FWD試験の実施
- 10月30日(火) 模型地盤の構築
- 10月31日(水) 試験条件を確認のために先行して小型FWD試験  
→ 東京測器研究所
- 11月1日(木) 参加8機関による小型FWD試験の実施  
→ 午前の部・午後の部それぞれ4機関とする
- 11月2日(金) 平板載荷試験, 現場CBR試験

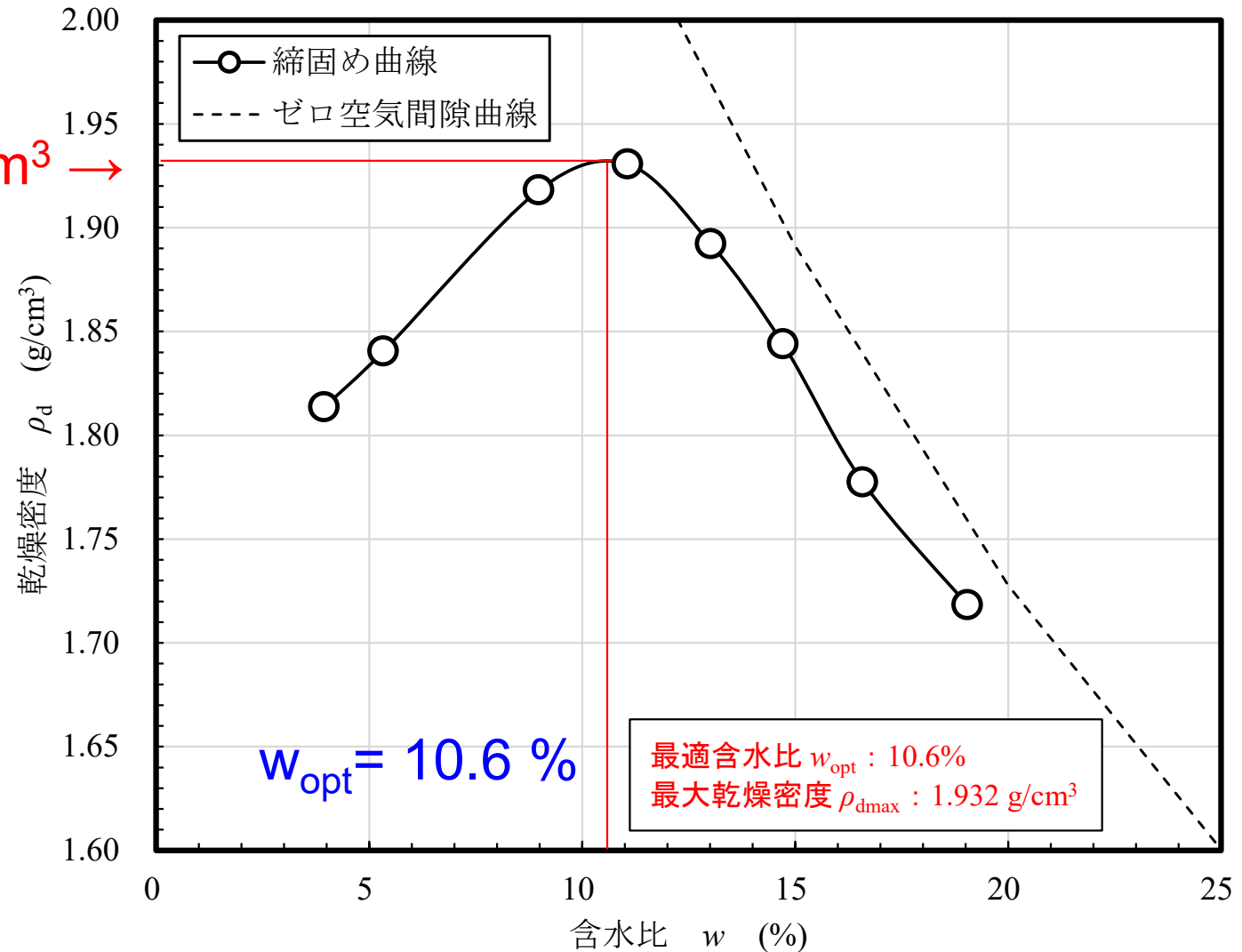
## 模型地盤に用いた試料：まさ土

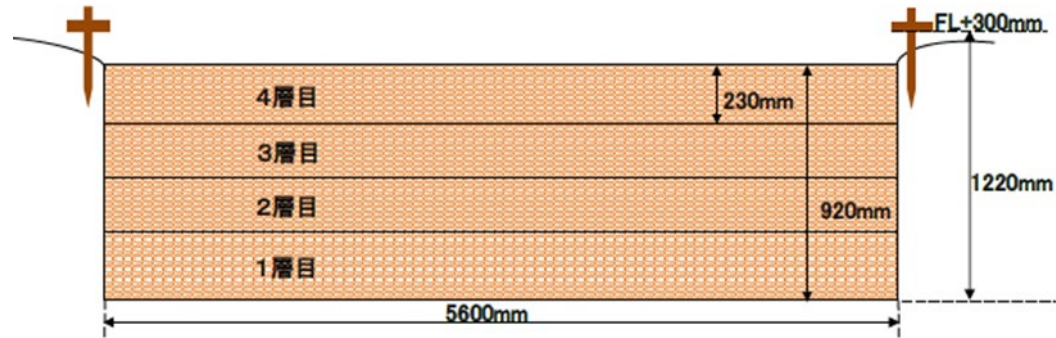
|   | 転圧前   | 転圧後   |
|---|-------|-------|
| 土粒子の密度<br>$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.640 | 2.640 |



## ・ 締固め特性

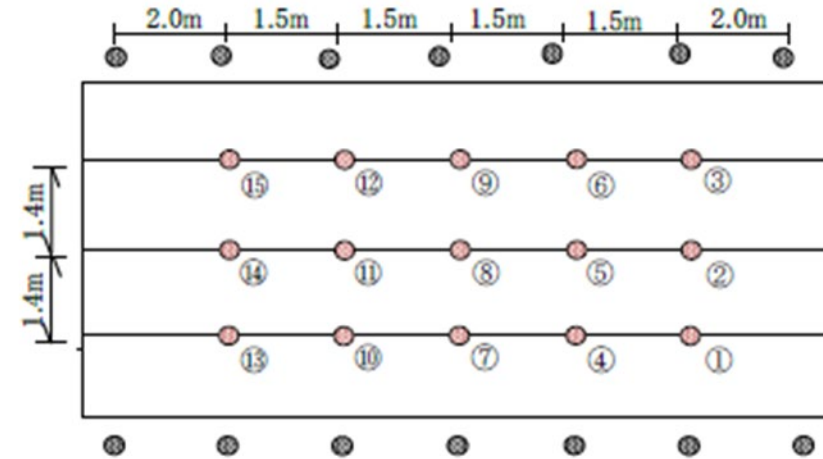
$\rho_{dmax} = 1.932 \text{ g/cm}^3$





断面図

幅5.6 m, 長さ5.0 m, 高さ0.92 m  
1層 230 mm, 4層



平面図

模型地盤作製に用いた  
9 t 大型振動ローラー

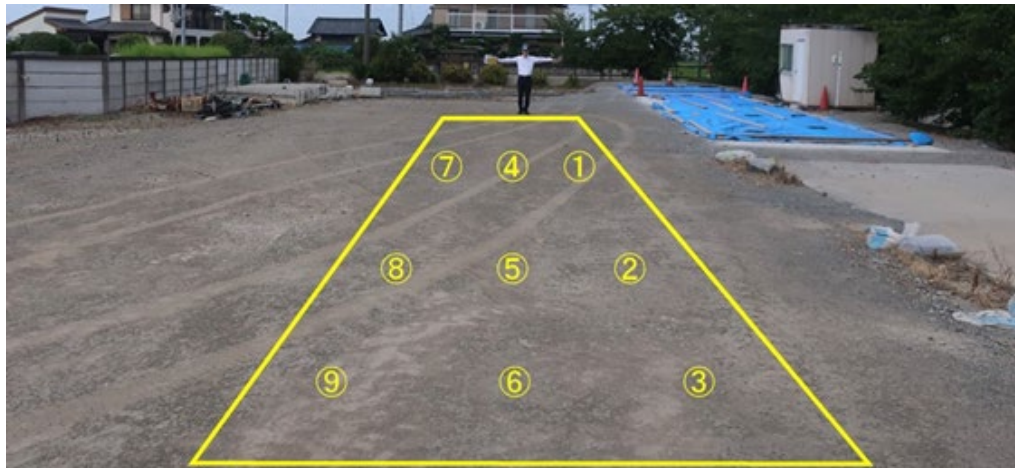
1層目：転圧回数, 模型地盤の高さを測定  
2層目以降：転圧回数を検討



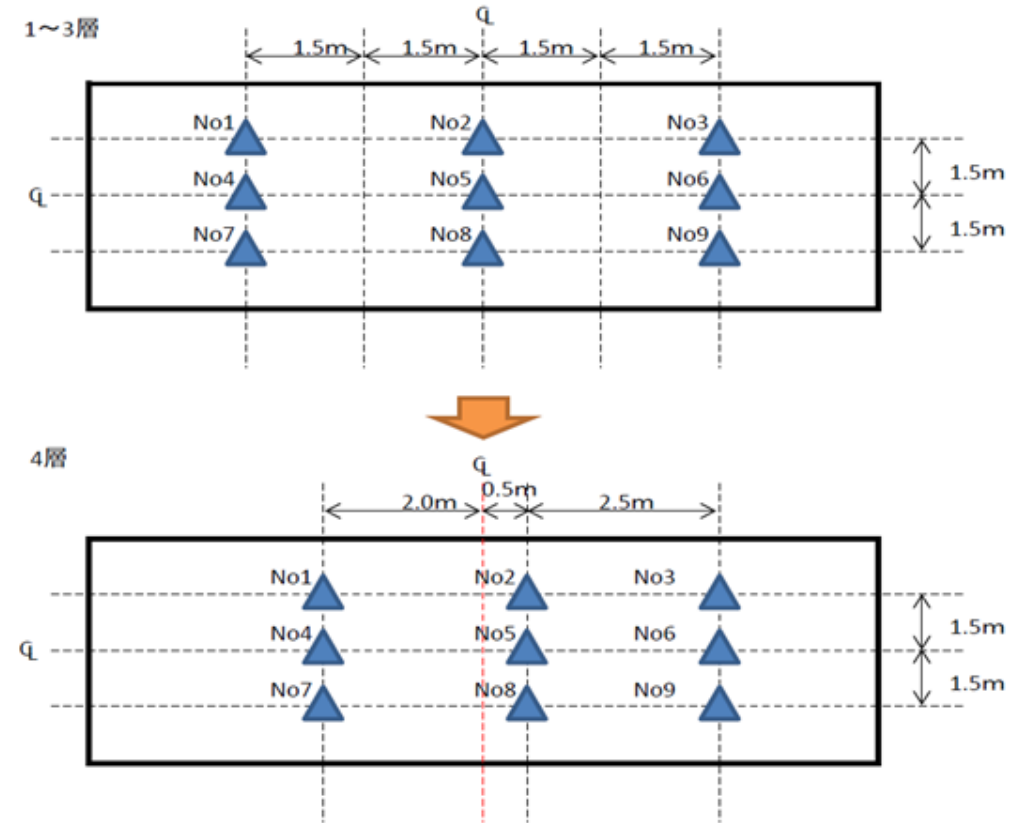
- 模型地盤の作製方法

2層目以降の転圧回数を6回と決定

- 模型地盤の密度



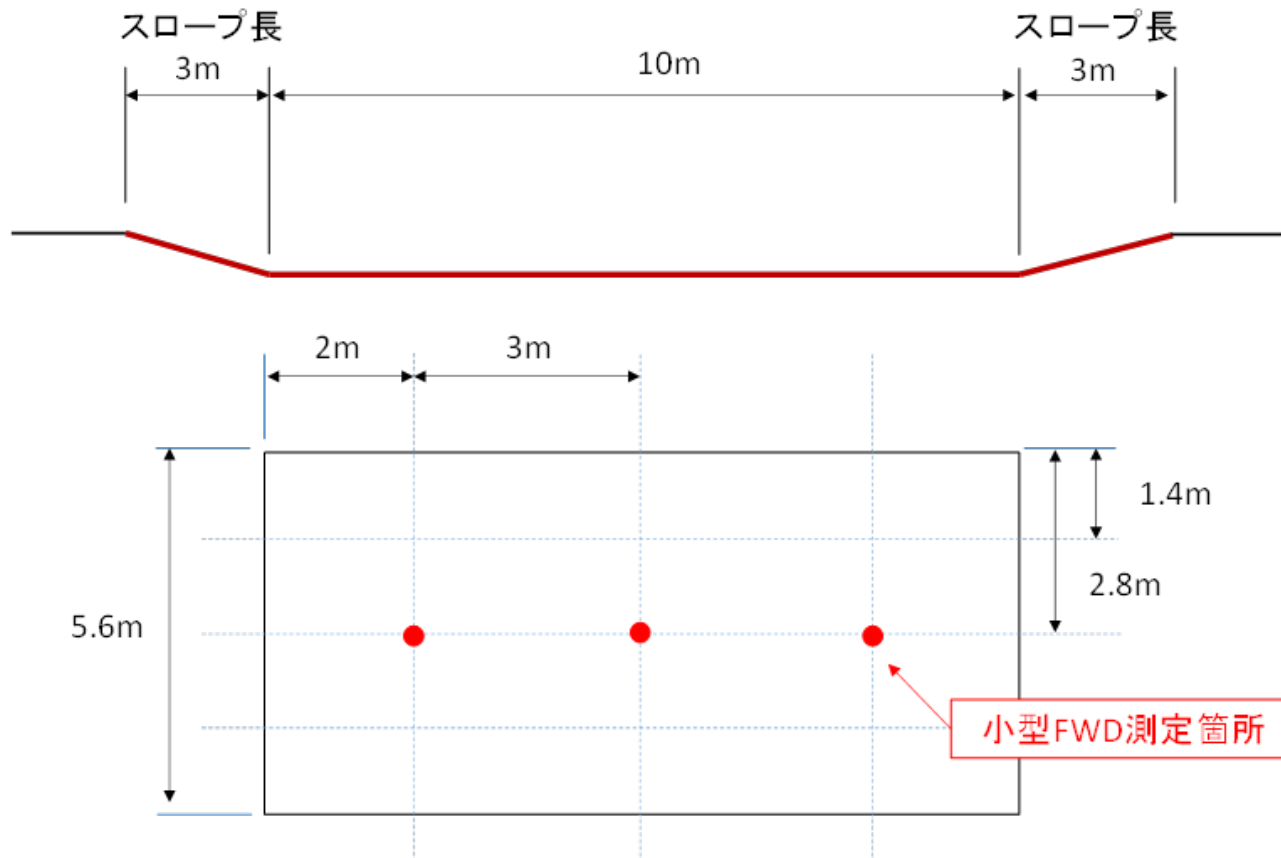
砂置換法 (JIS A 1214) およびRIで実施



砂置換法 (JIS A 1214) : ④~⑥  
RI法 : ①~⑨ で実施

●各層において締固め度95%以上 : 構築した模型地盤 → 概ね均一な締固め度

- 模型地盤構築前の原地盤  
→ 掘削後底面の横断方向中央で長手方向に中央と両端の3点で小型FWD試験を実施

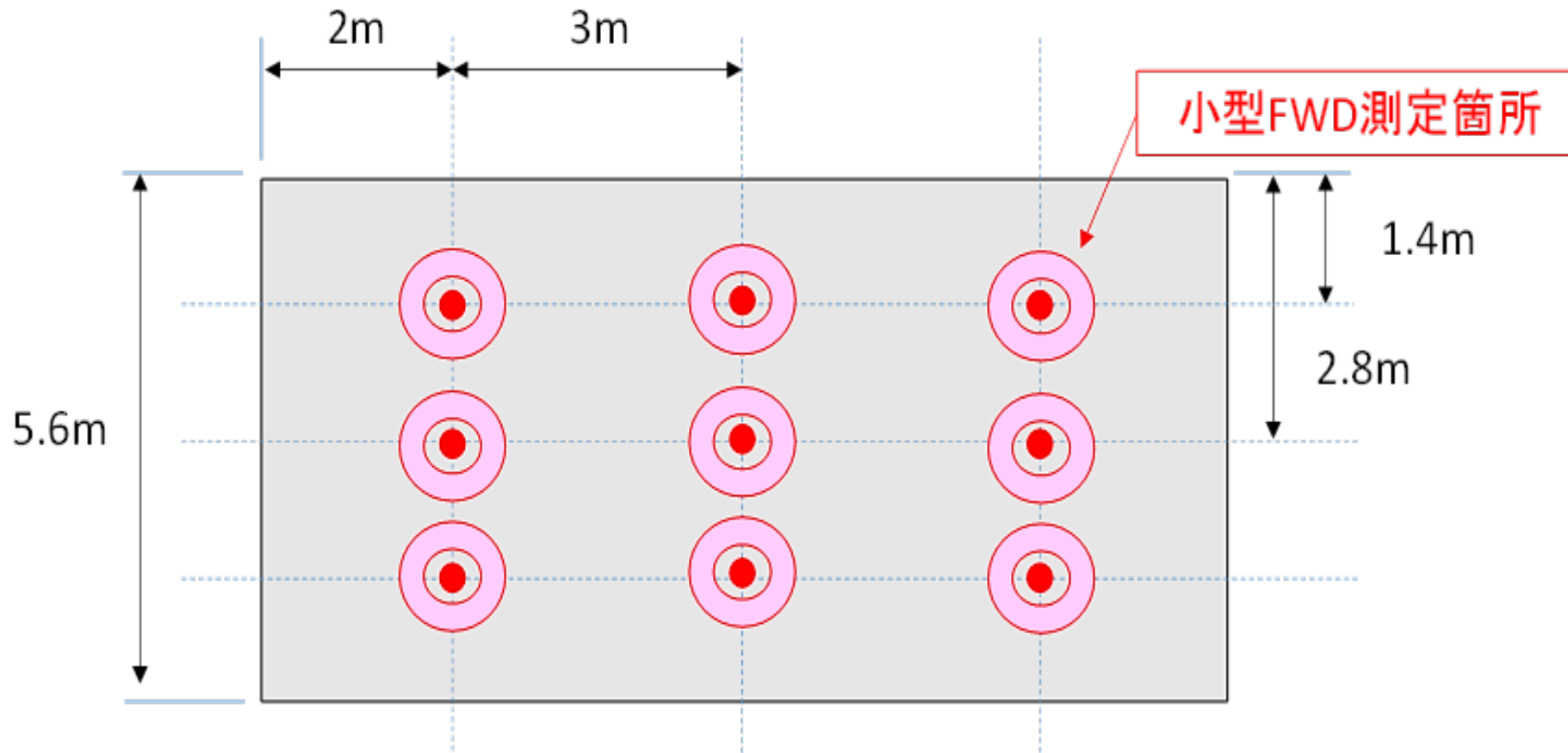


|                           | No.4 | No.5 | No.6 |                   |
|---------------------------|------|------|------|-------------------|
| 10 cmの載荷板によるK値である $K_p$ 値 | 998  | 1108 | 1072 | MN/m <sup>3</sup> |
| $K_{(P.FWD)}$ 値           | 333  | 369  | 357  | MN/m <sup>3</sup> |

- 参加機関の小型 FWD 試験装置

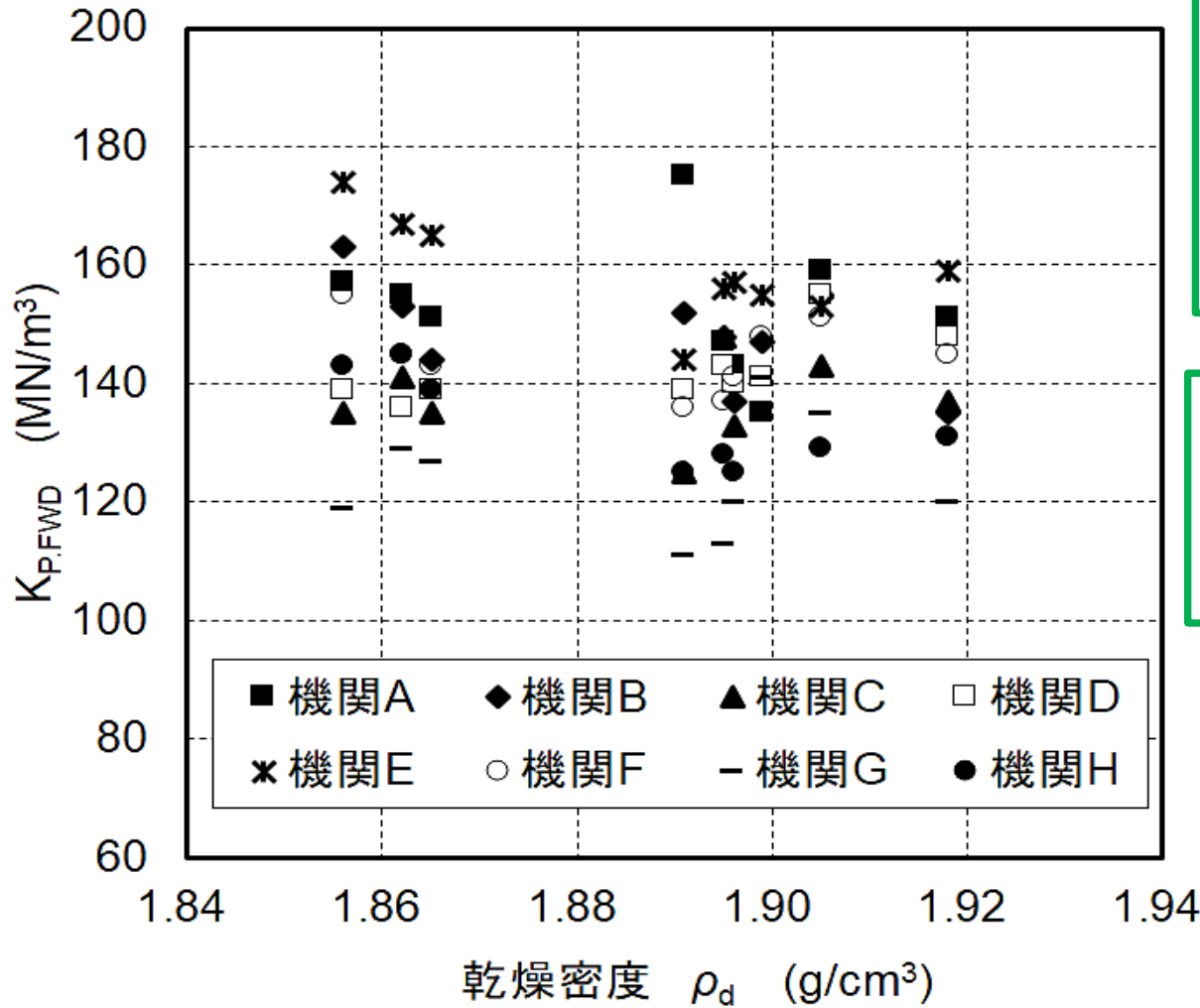
FWD-Light(KFD-100A)：8台(内1台がワイヤレスタイプ)

| No.             | 参加機関名               | 使用した小型FWD試験装置の型番               | 製造番号           |
|-----------------|---------------------|--------------------------------|----------------|
| I               | 千葉エンジニアリング          | FWD-Light(KFD-100A)            | EXM08060       |
| II              | 太平洋プレコン工業           | FWD-Light(KFD-100A)            | EXM150057      |
| III             | 鉄道総合技術研究所           | FWD-Light(KFDT-100A) 【ワイヤレス】   | EXN130003      |
| IV              | 大成ロテック              | FWD-Light(KFD-100A)            | EXM06044       |
| V               | NIPPO               | FWD-Light(KFD-100A)            | EXM07055       |
| VI              | シムラ                 | FWD-Light(KFD-100A)            | EXM130025      |
| VII             | ニチレキ (A)            | FWD-Light(KFD-100A)            | EXM07053       |
| <del>VIII</del> | <del>ニチレキ (B)</del> | <del>HandyF.W.D.(TR-429)</del> | <del>004</del> |
| IX              | 東京測器研究所             | FWD-Light(KFD-100A)            | EXM160064      |



試験は、**9 測点を新品の共通ゴムバッファ(4セット)を用いて計測後、最後の測点(各機関で異なる)で、自社のゴムバッファを用いて計測**



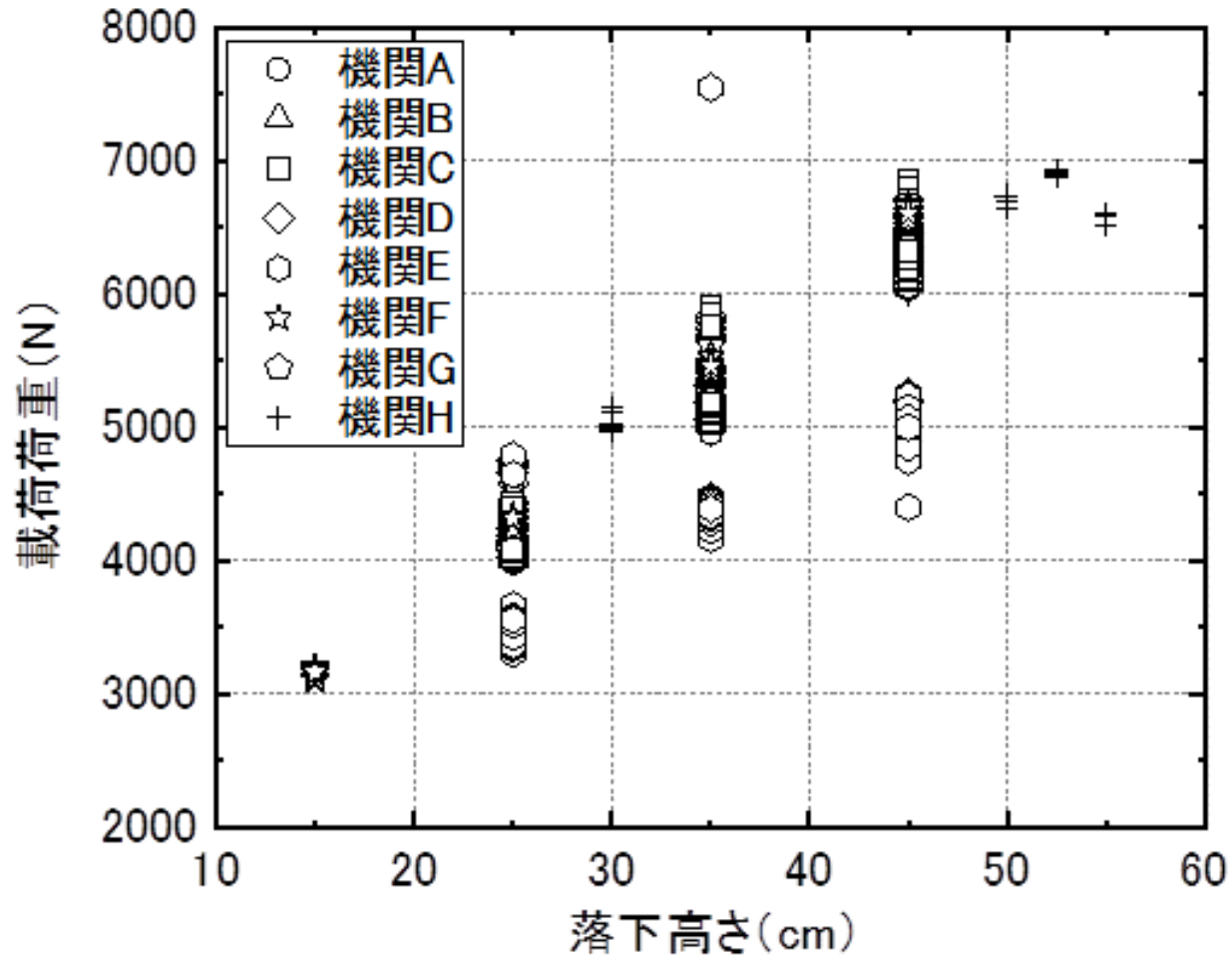


乾燥密度  $\rho_d$  → 9箇所の測点での値  
 最大値と最小値の差異 → 0.06 g/cm<sup>3</sup>程度  
 ほぼ均一な地盤  
 **$K_{P.FWD}$ 値** : ほぼ同様な値を示す

同じ  $\rho_d$  における各機関の  **$K_{P.FWD}$ 値** の比較  
 ・  **$K_{P.FWD}$ 値のばらつき**  
 → 概ね, 40 MN/m<sup>3</sup>程度

別途実施した  
 ・ 平板載荷試験による  $K_{30}$  値ばらつき  
 → 95~122 MN/m<sup>3</sup>  
**両者を比較すると大きな差は無い**

各機関の各測点での  **$K_{P.FWD}$**  と乾燥密度の関係



機関によって同じ落下高さでも載荷荷重が異なる  
共通ゴムバッファを用いて試験を実施している

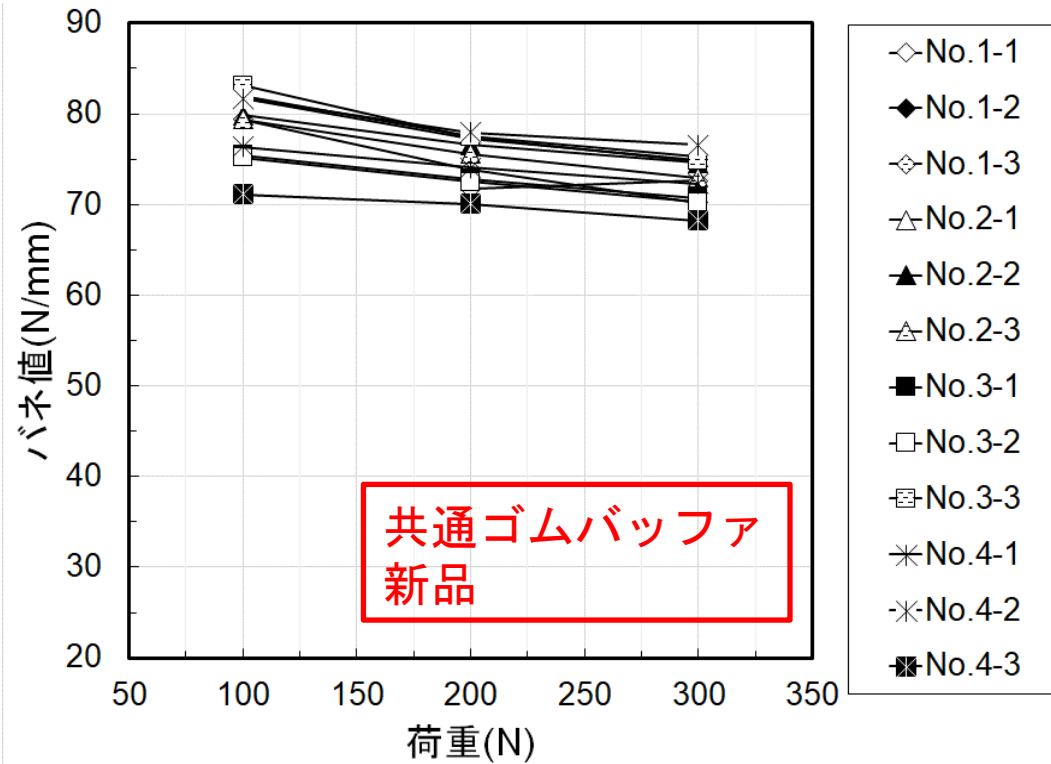


・ロードセル等の機種間による影響

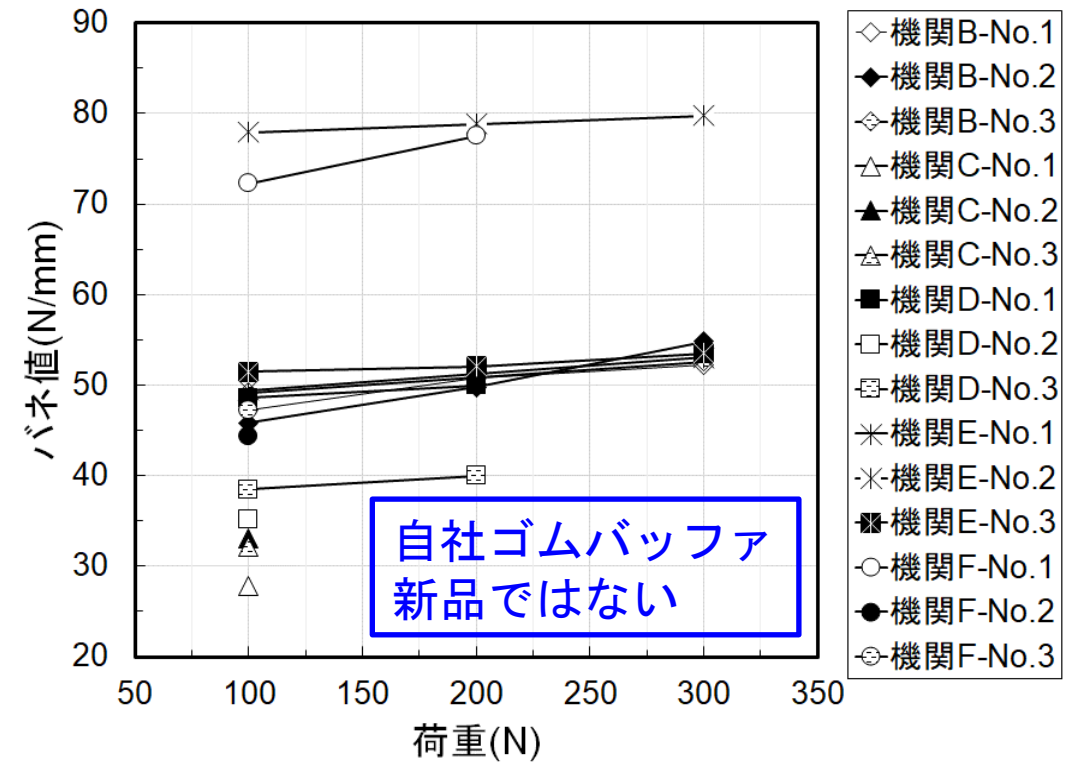
- ・荷重を正確に作用させるために定期的なロードセル等の検定を行うこと
- ・ゴムバッファの許容荷重に対する適切な作用荷重の範囲を示しておく必要がある

全測点の載荷荷重と落下高さの関係

- 小型FWD試験 → 参加機関を4グループに分けて実施  
各グループとも、**新品の共通ゴムバッファを使用**
- ① **共通ゴムバッファの剛性を把握するため**  
→ **一軸圧縮試験を実施**
- ② 参加した5機関：自社ゴムバッファの剛性把握  
→ **別途、一軸圧縮試験を実施**

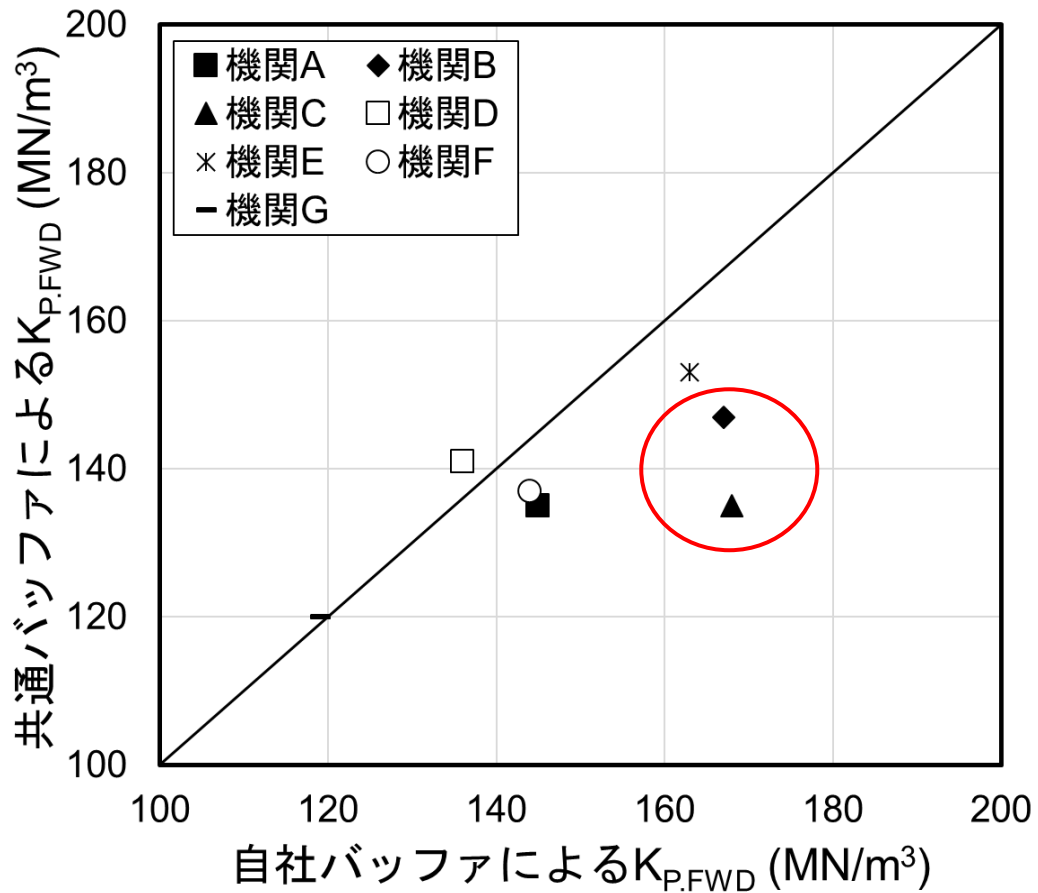


共通ゴムバッファのバネ値～荷重関係



自社ゴムバッファのバネ値～荷重関係

- 共通ゴムバッファ → ばらつきが少ない, 荷重が増加するとバネ値は減少傾向
- 自社ゴムバッファ → ばらつきが大きい, バネ値が一定もしくは僅かな増加傾向



- ・ ゴムバッファのバネ値が小さい機関



1:1の関係から乖離するような傾向  
バネ値～荷重関係が異なる傾向にある  
ことが起因

ゴムバッファの交換周期を定める  
など、適切に管理する必要がある

同測点における  
共通ゴムバッファによる  $K_{P.FWD}$  と  
自社ゴムバッファによる  $K_{P.FWD}$  の比較

## 小型FWDによる $K_{P.FWD}$ のばらつきに関する一斉試験

本研究の範囲内・・・

- 新品の共通ゴムバッファを用いた試験から得られた $K_{P.FWD}$ 値のばらつき  
→ 概ね, 40 MN/m<sup>3</sup>程度 ⇒  $K_{30}$ 値のばらつきと比較すると大きな差はない
- 参加機関の $K_{P.FWD}$ 値のばらつきの大きな要因の一つ  
→ 購入後のロードセル等の検定の有無  
→ ゴムバッファの交換の有無など

★ゴムバッファの交換周期を定めるなど, 適切に管理する必要がある

- (1) 小型FWD試験装置のバネ値を統一するために・・・  
→ 出荷時のゴムバッファの硬度（例えば、ゴム硬度 75度等）を明示
- (2) 2~3年に一度、試験装置のキャリブレーションの実施を明示  
ゴムバッファの交換を行う
- (3) ユーザーによっては、ゴムバッファの許容変形量を超えるような荷重を作用させていることが散見  
→ ゴムバッファに対する適切な作用荷重の範囲を示すこと  
例えば、対象地盤に適用可能なおもりと適切な落下高さの明示

小型FWD試験装置のメンテナンスに関する基準化の必要性と  
「FWDおよび小型FWD運用の手引き（土木学会）」の改訂が重要

委員長 城本 政一

小型FWD検証分科会 委員構成：19名

分科会長

木幡 行宏 室蘭工業大学大学院 工学研究科

委員

- 伊藤 壱記 鉄道総合技術研究所 軌道技術部
- 大石 浩晶 (株)東京測器研究所 計測技術部
- 岡野 剛 (株)東京測器研究所 計測技術部
- 粕谷 一明 福田道路(株) 技術部
- 高馬 克治 ニチレキ(株)  
道路エンジニアリング部
- 早苗 順市 十勝道路(株)
- 志村 智之 (株)シムラ
- 城本 政一 大成ロテック(株)  
生産技術本部 技術研究所
- 関根 悦夫 (株)HRC研究所

委員

- 竹内 康 東京農業大学 地域環境科学部  
地域創成科学科
- 近嵐 清昭 (株)東京測器研究所 営業部
- 寺田 剛 (国研)土木研究所 道路技術研究グループ
- 中村 貴久 鉄道総合技術研究所 軌道技術部
- 中村 博康 (株)NIPPO 総合技術部 技術研究所
- 姫野 賢治 中央大学 理工学部 都市環境学科
- 柳沼 宏始 太平洋プレコン工業株式会社
- 山中 光一 日本大学 理工学部 交通システム工学科
- 若月 洋朗 千葉エンジニアリング(株)



本研究の遂行にあたっては、  
一斉試験実施のためのフィールド提供や模型地盤の作製において、  
大成ロテック(株)技術研究所の協力を得ました。

また、一斉試験の参加機関として、(株)シムラ、太平洋プレコン工業(株)、大成ロテック(株)、千葉エンジニアリング(株)、(公財)鉄道総合技術研究所、(株)東京測器研究所、(株)NIPPO、ニチレキ(株)の皆さまに協力を得ました。

ここに、深甚なる感謝の意を表します。

小型 FWDによる K値のばらつきに関する一斉試験：

木幡行宏，関根悦夫，山中光一

第58回地盤工学研究発表会，11-2-3-01，2023.

## 「舗装材料の特性と評価」に関する報告会

# 再生用添加剤を用いた再生改質ア スファルト混合物の材料特性

2024.6.6

リサイクル分科会 佐藤研一

# 1.はじめに ～研究背景～

## □アスファルト舗装の再資源利用サイクル



「舗装材料の特性と評価」に関する報告会

## □アスファルト混合物の製造割合

$$\text{割合} = \frac{\text{再生合材}}{\text{新規合材}}$$

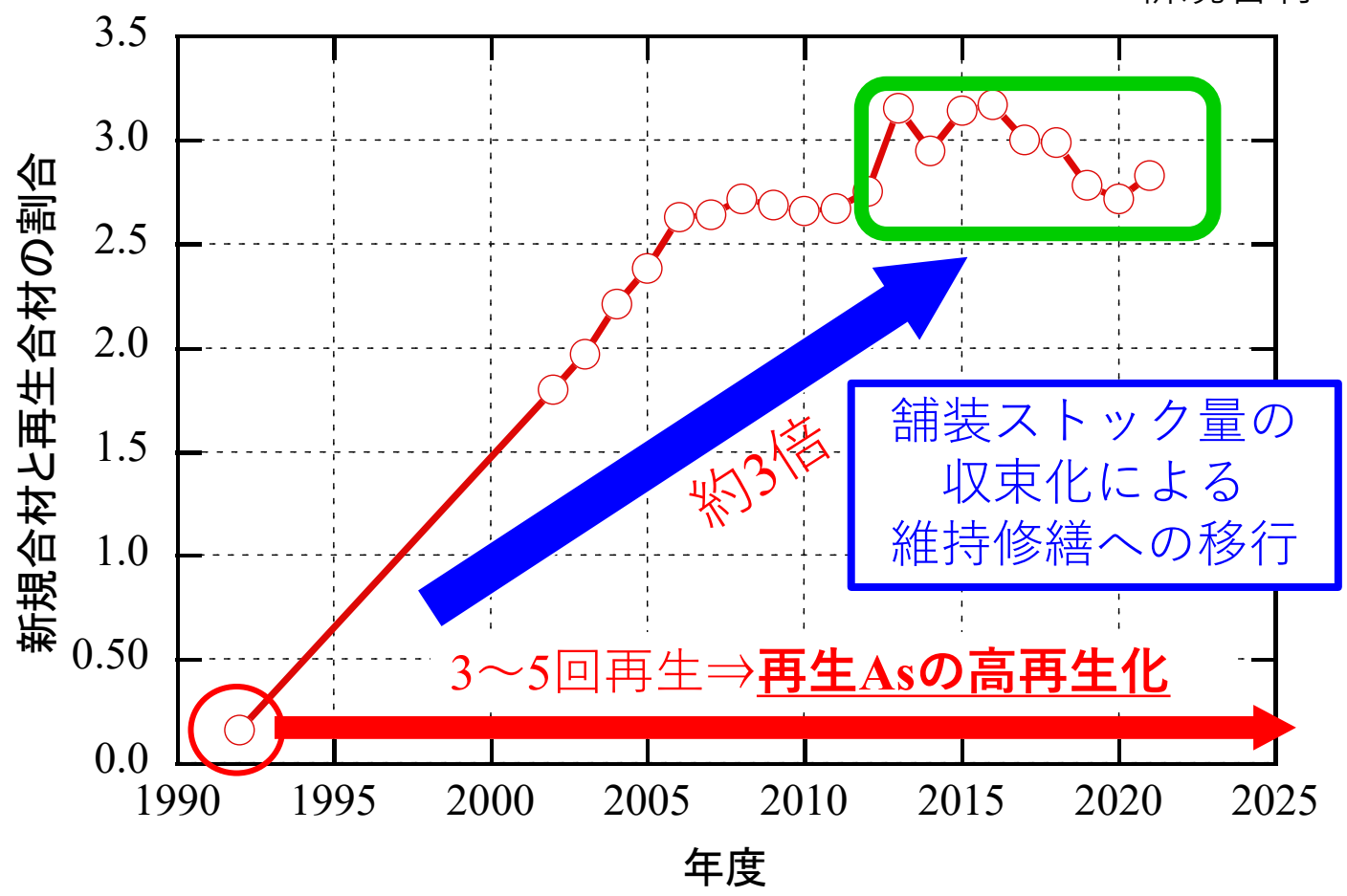
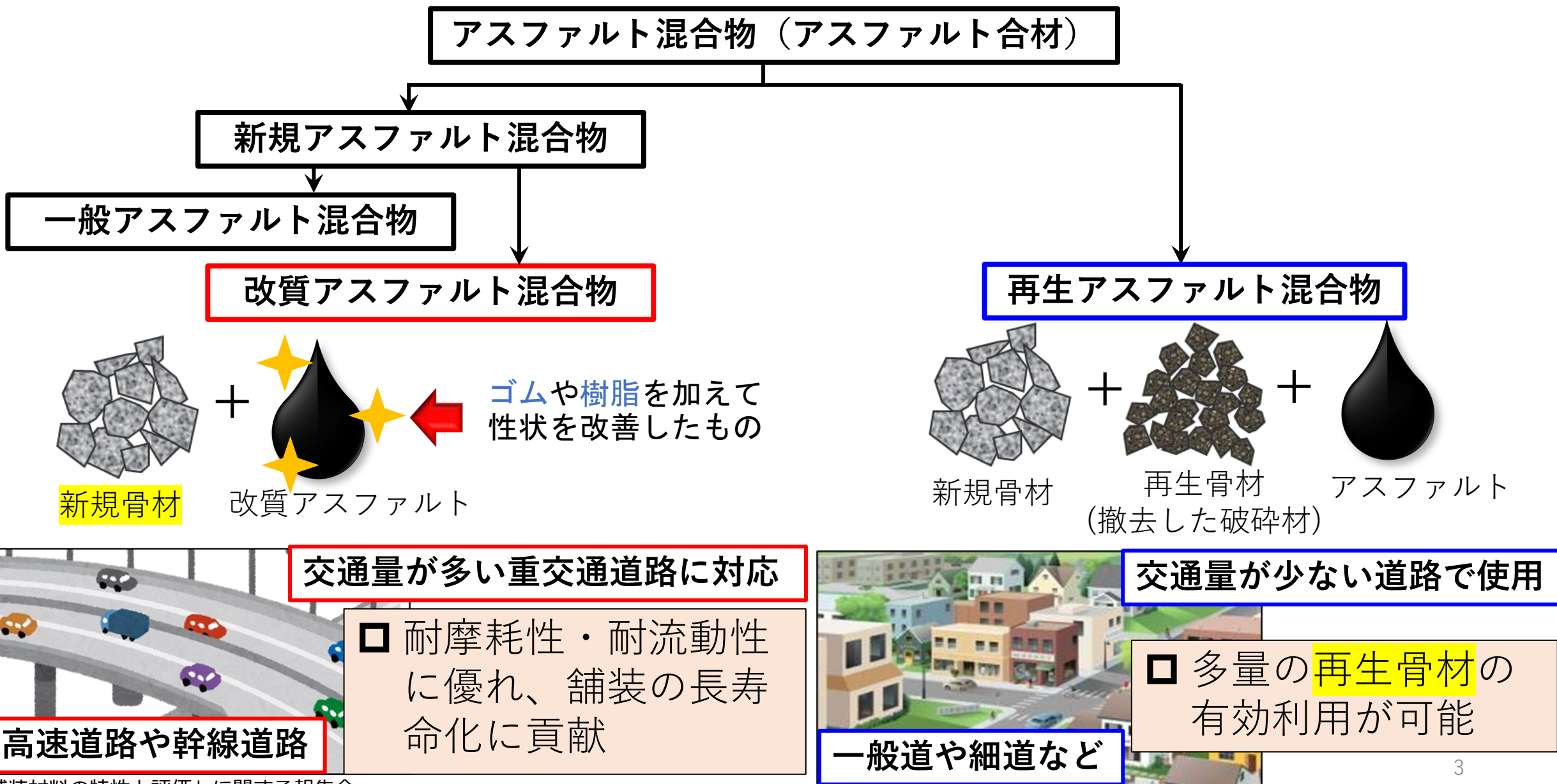


図 再生合材と新規合材の割合

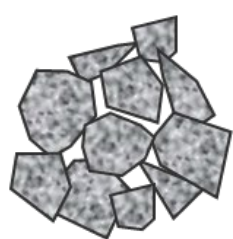
➡ **さらなる再生骨材の利用拡大が課題**

# 1.はじめに ～研究背景～



# 1.はじめに ～研究背景～

## 改質アスファルト混合物



新規骨材

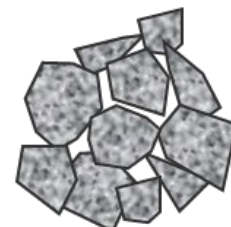
+



改質アスファルト

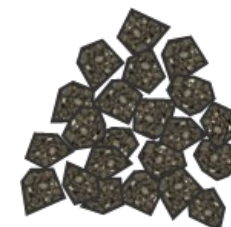
← ゴムや樹脂を加えて  
性状を改善したもの

## 再生アスファルト混合物



新規骨材

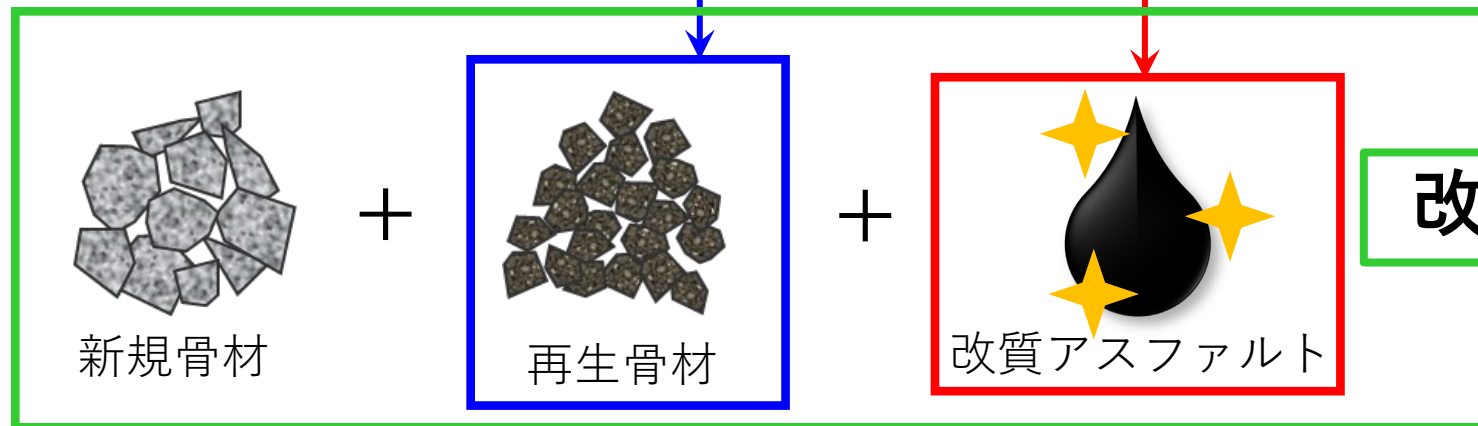
+

再生骨材  
(撤去した破砕材)

+



アスファルト



## 改質再生アスファルト混合物

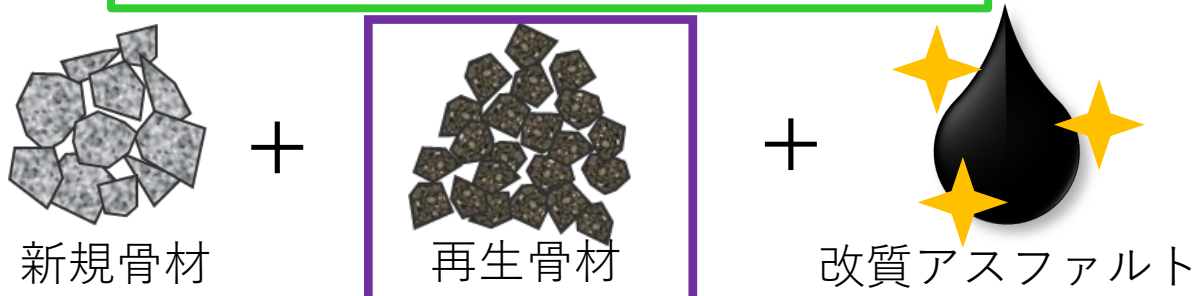
□ 改質再生アスファルト混合物の現状

- 関東、関西地区等では一部改良され実用化
- 各地域の再生骨材を用いた再生改質アスファルト混合物の性状は不明

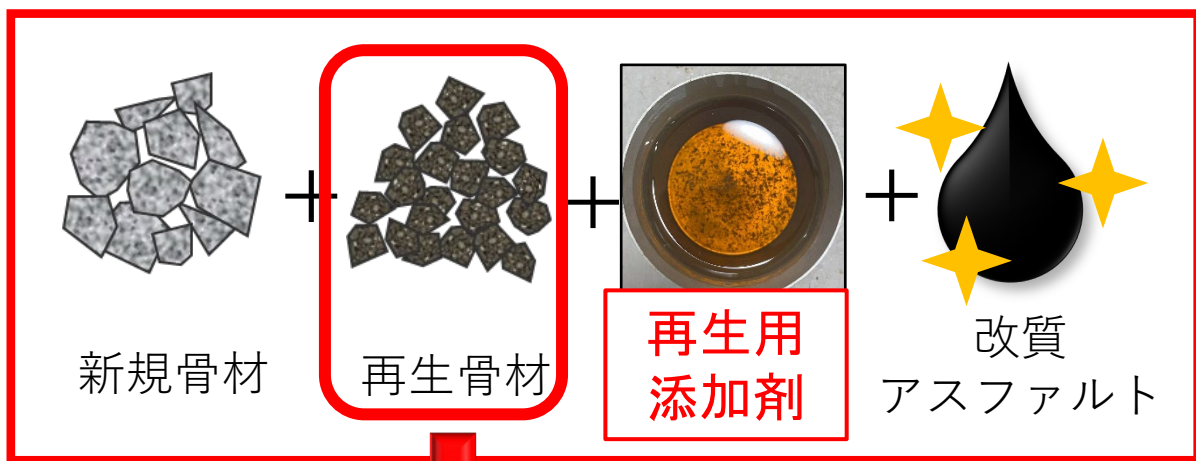
➡ 利用拡大に向けて、九州地区の再生骨材を用いた性状を把握することが必要

# 1.はじめに ～研究背景～

## 改質再生アスファルト混合物



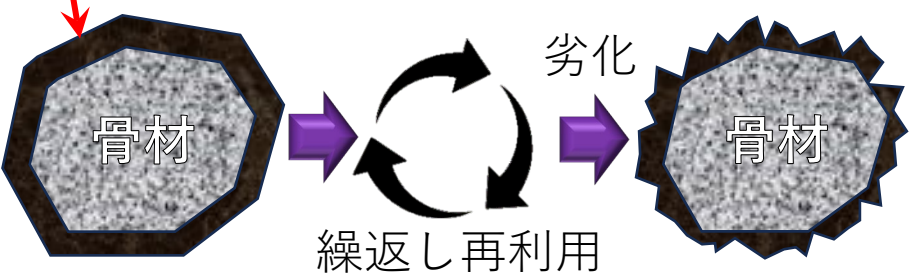
□本研究の検討内容



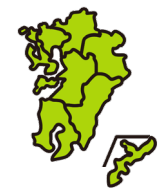
旧As：破碎した骨材に付着しているAs

旧Asの性能低下

Asの組成成分低下



- 飽和分
- 芳香族分
- レジン分
- アスファルテン分



九州4地域  
福岡・熊本・鹿児島・沖縄

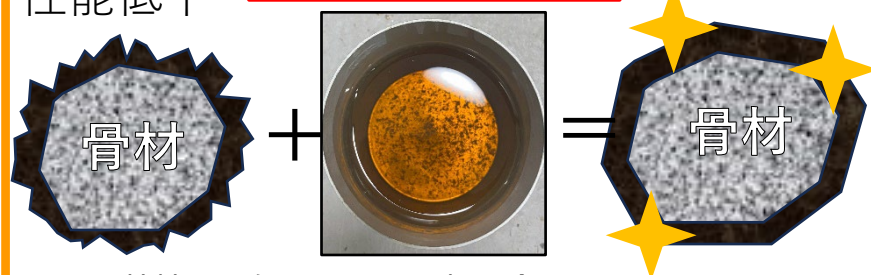
再生用添加剤を用いた改質再生アスファルト混合物の材料特性を検討

そこで...

旧Asの性能低下

再生用添加剤

旧Asの組成成分回復



- 飽和分
- 芳香族分
- レジン分
- アスファルテン分

□混合物性状・強度及び添加するAs量（最適As量）の変化

□天候変化に伴う雨水に対する耐水性

□わだち掘れやひび割れに対する疲労抵抗性

# 1.はじめに ～研究背景～

再生骨材の利用拡大に向けた改質アスファルト混合物への有効利用

九州地区の再生骨材における再生改質アスファルト混合物への適用性

再生用添加剤を用いた再生改質アスファルト混合物の材料特性の検討

## 再生用添加剤による影響

- 再生用添加剤の添加量の違いによる影響
- 最適アスファルト量への影響
- 九州地区の再生骨材の違いによる影響
- 安定度への影響

## 耐水性

- 再生用添加剤の添加の影響
- 九州地区の再生骨材の違いによる影響

## 疲労抵抗性





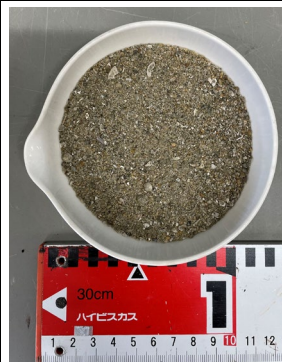


- 再生用添加剤の添加の影響
- 九州地区の再生骨材の違いによる影響

九州地区の再生骨材における再生改質アスファルト混合物への適用性の評価



## 本検討に用いたアスファルト混合物の配合条件および供試体作製方法

### □ 配合条件 【再生改質密粒度アスファルト混合物20mmTop】

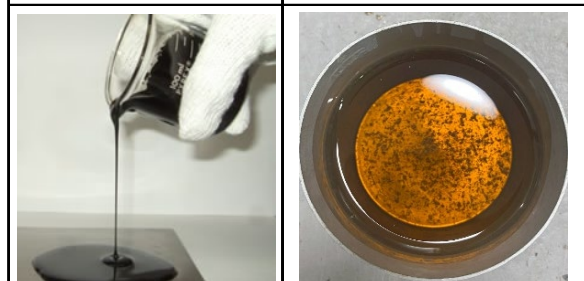
| 骨材配合率(%)   |   |   |  |   |   |   |
|--|---|---|--|---|---|---|
| 5号碎石   | 6号碎石  | 7号碎石  | 粗砂   | 細砂  | 石粉  | 再生骨材  |
| 21   | 8   | 5   | 10   | 4   | 2   | 50  |
|  |  |  |  |  |  |  |

| 地域  | 針入度 (1/10mm) | 旧As量 (%) |
|-----|--------------|----------|
| 福岡  | 22           | 4.52     |
| 熊本  | 21           | 4.47     |
| 鹿児島 | 29           | 4.77     |
| 沖縄  | 21           | 4.98     |

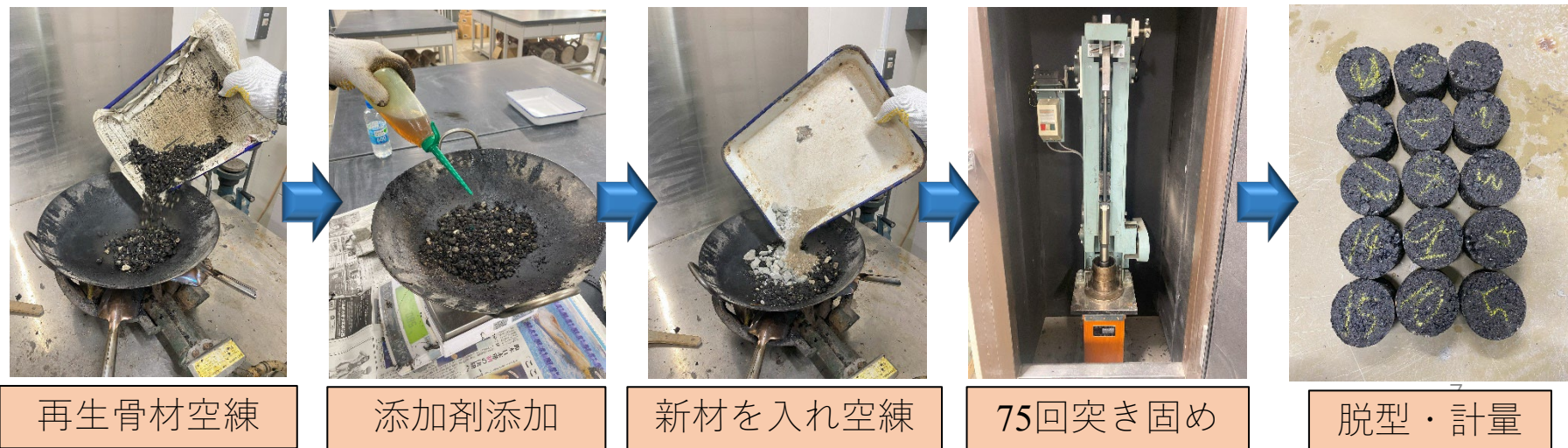


### □ 供試体作製方法

|                 |                   |
|-----------------|-------------------|
| アスファルト (改質II型)  | 再生用添加剤            |
| 添加量(%) (骨材に対して) | 添加量(%) (旧As量に対して) |
| 4.0~6.0         | 0~10              |



「舗装材料の特性と評価」に関する報告会



## 本検討における検討項目の試験方法

### 再生用添加剤を用いた再生改質アスファルト混合物の材料特性の検討内容

#### 再生用添加剤による影響

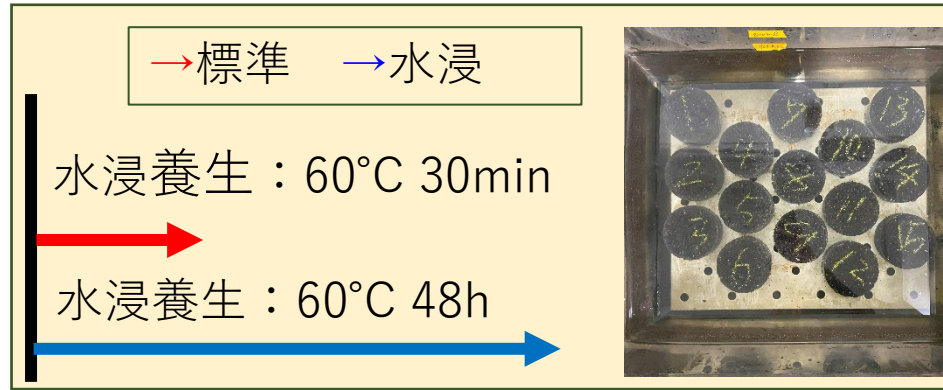
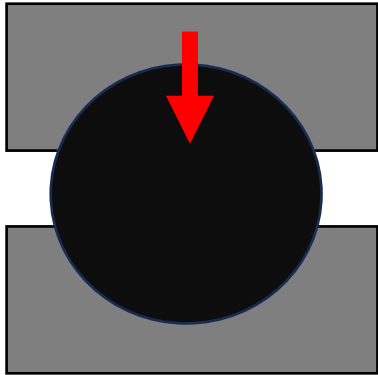
➡ 標準マーシャル試験

#### 耐水性

➡ 水浸マーシャル試験



マーシャル試験機



変形に対する抵抗性



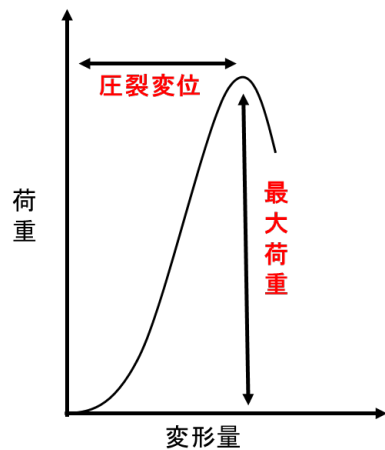
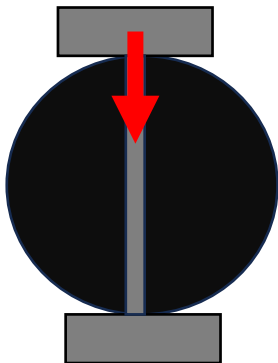
- フロー値
- 安定度
- 残留安定度

#### 疲労抵抗性

➡ 圧裂試験



圧裂試験機

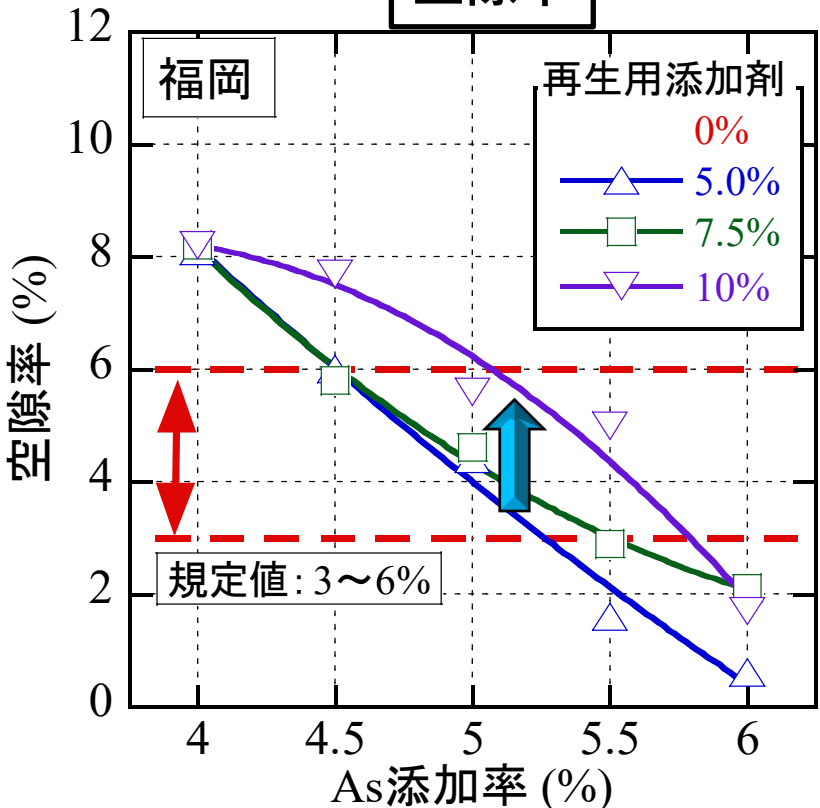


- ひび割れに対する抵抗性  
⇒ 圧裂強度
- As混合物の劣化の指標  
⇒ 圧裂係数

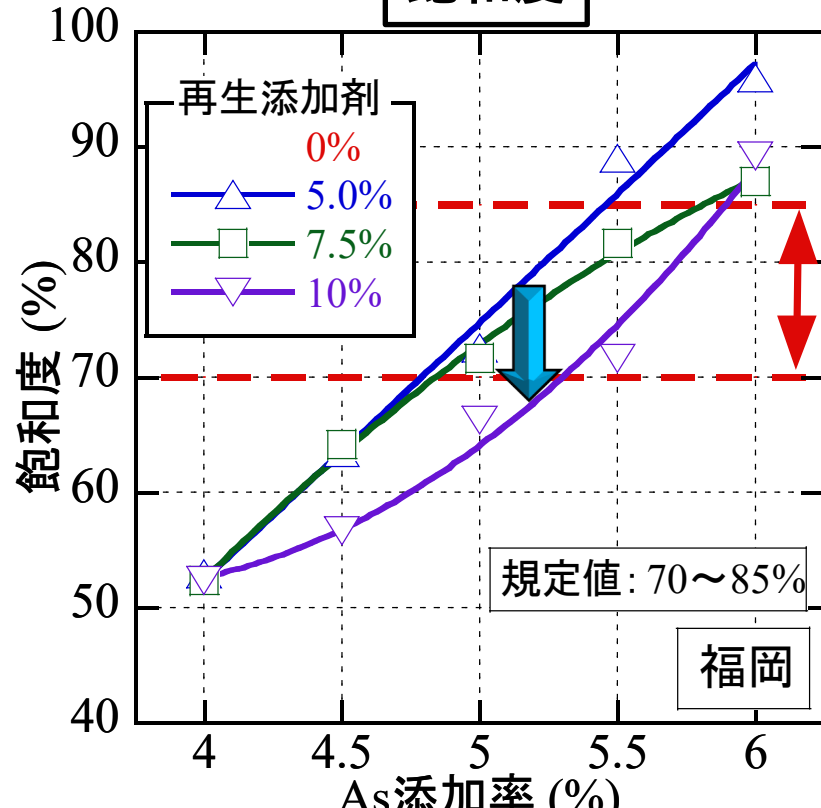
再生用添加剤による影響

再生用添加剤の添加量の違いによる影響

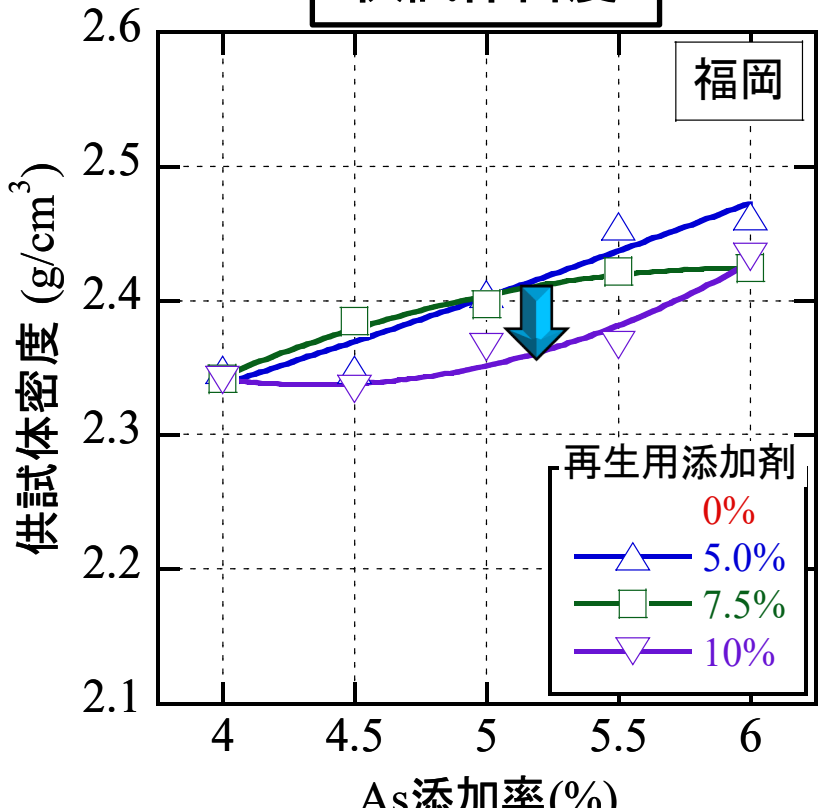
空隙率



飽和度



供試体密度



再生用添加剤 0~5.0% → 空隙率：減 飽和度：増 供試体密度：増

旧Asが再生用添加剤の性状回復により、再利用され充填密度が向上した

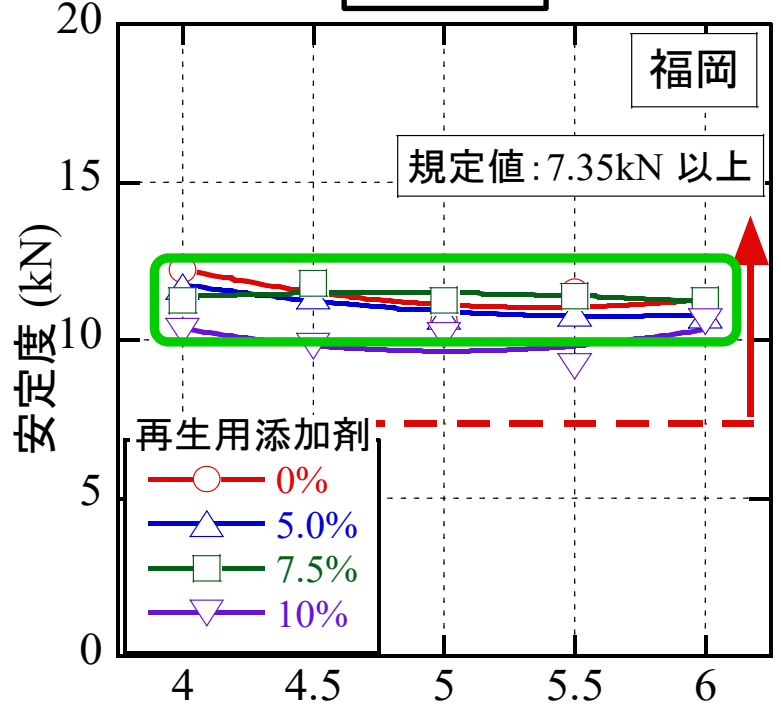
再生用添加剤 5.0%~10% → 空隙率：増 飽和度：減 供試体密度：減

Asが過剰に柔らかくなりAs混合物が締固まり難い状態になった

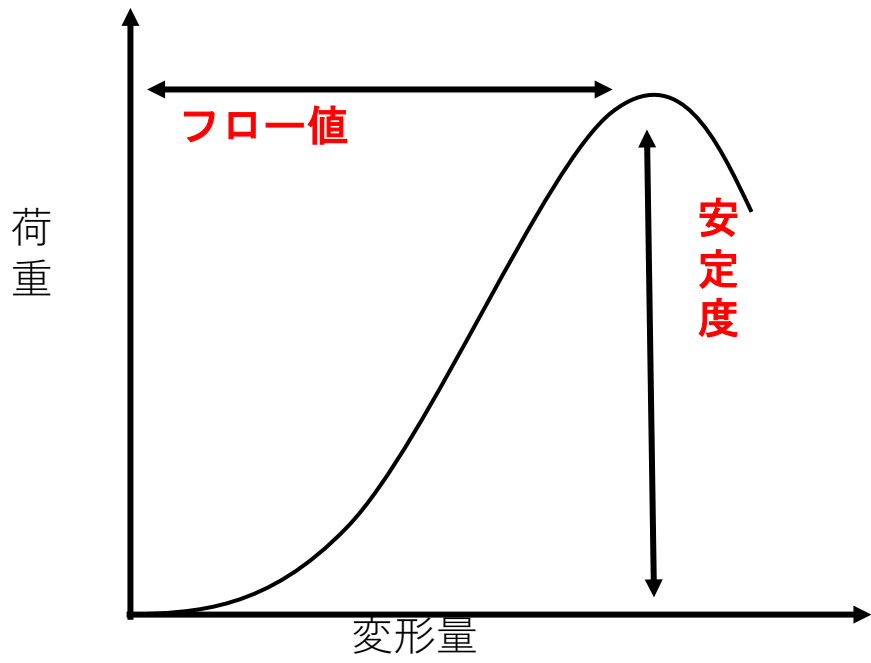
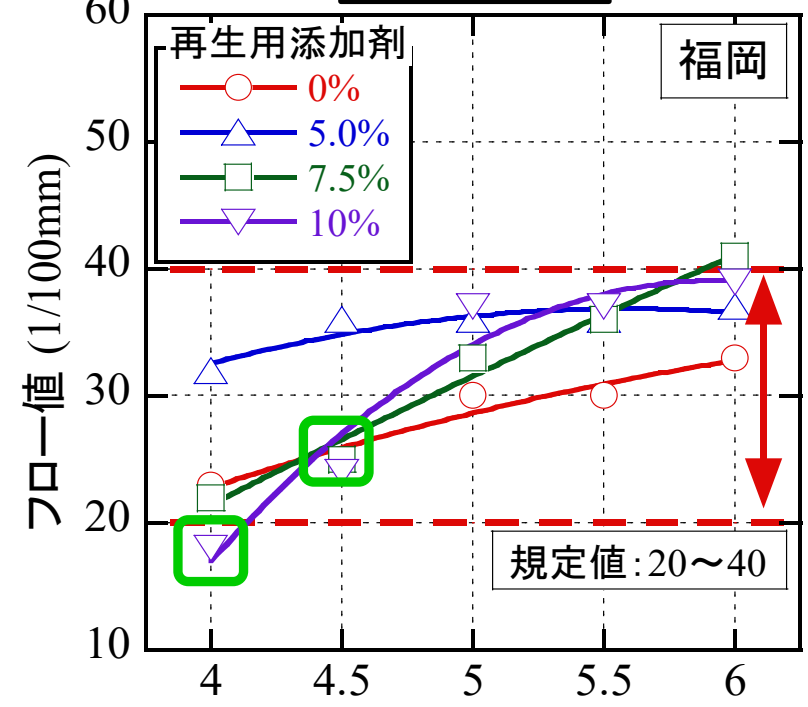
再生用添加剤による影響

再生用添加剤の添加量の違いによる影響      安定度への影響

安定度



フロー値



As添加率 (%)

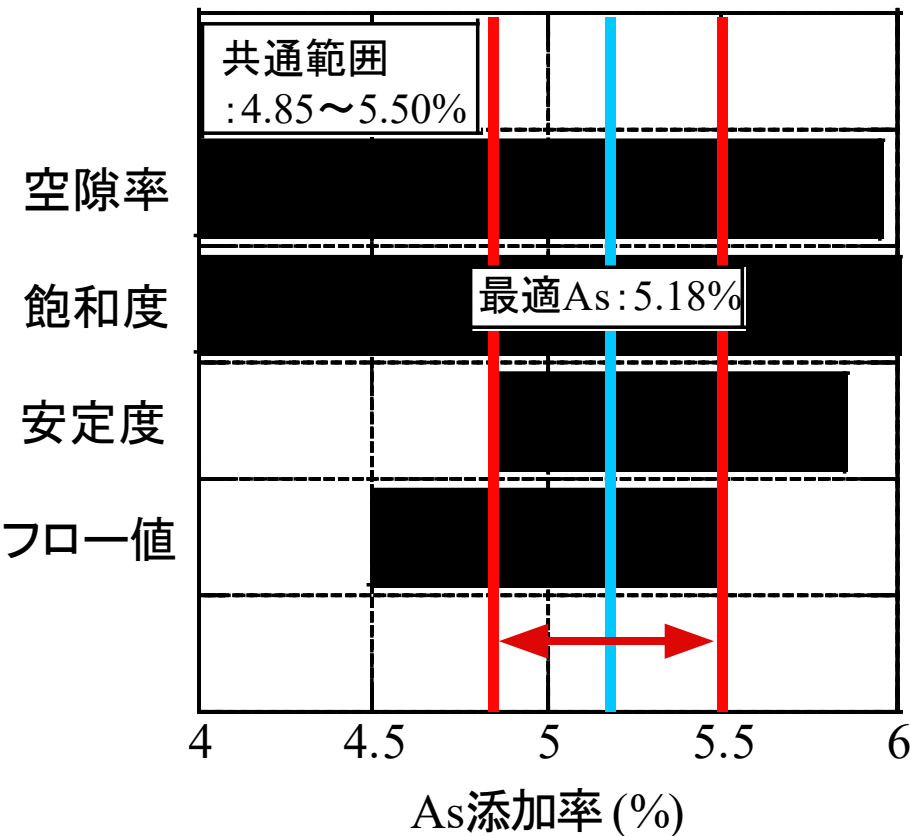
安定度 再生用添加剤0~7.5% → 同程度

フロー値 再生用添加剤10% → As添加量が低いときに低

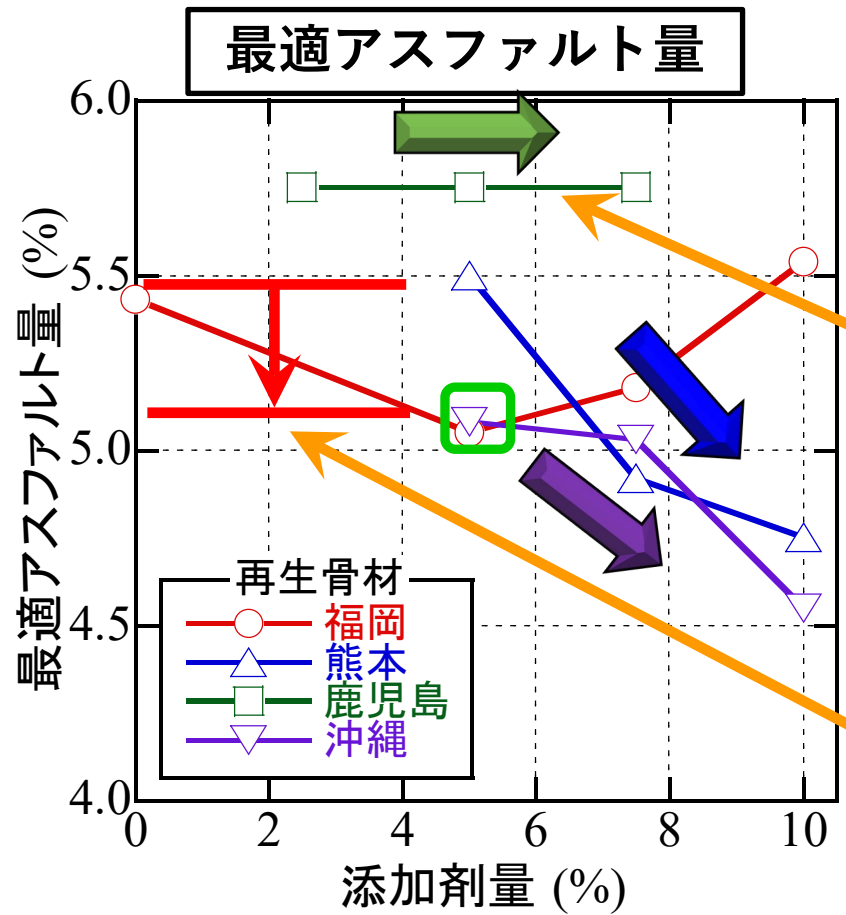
再生用添加剤の過度の添加により、供試体の流動性が増加し、粘性が低下したためと考えられる。

再生用添加剤による影響

●最適アスファルト量の求め方



- 最適アスファルト量への影響
- 九州地区の再生骨材の違いによる影響



| 地域  | 針入度 (1/10mm) | 旧As量 (%) |
|-----|--------------|----------|
| 福岡  | 22           | 4.52     |
| 熊本  | 21           | 4.47     |
| 鹿児島 | 29           | 4.77     |
| 沖縄  | 21           | 4.98     |

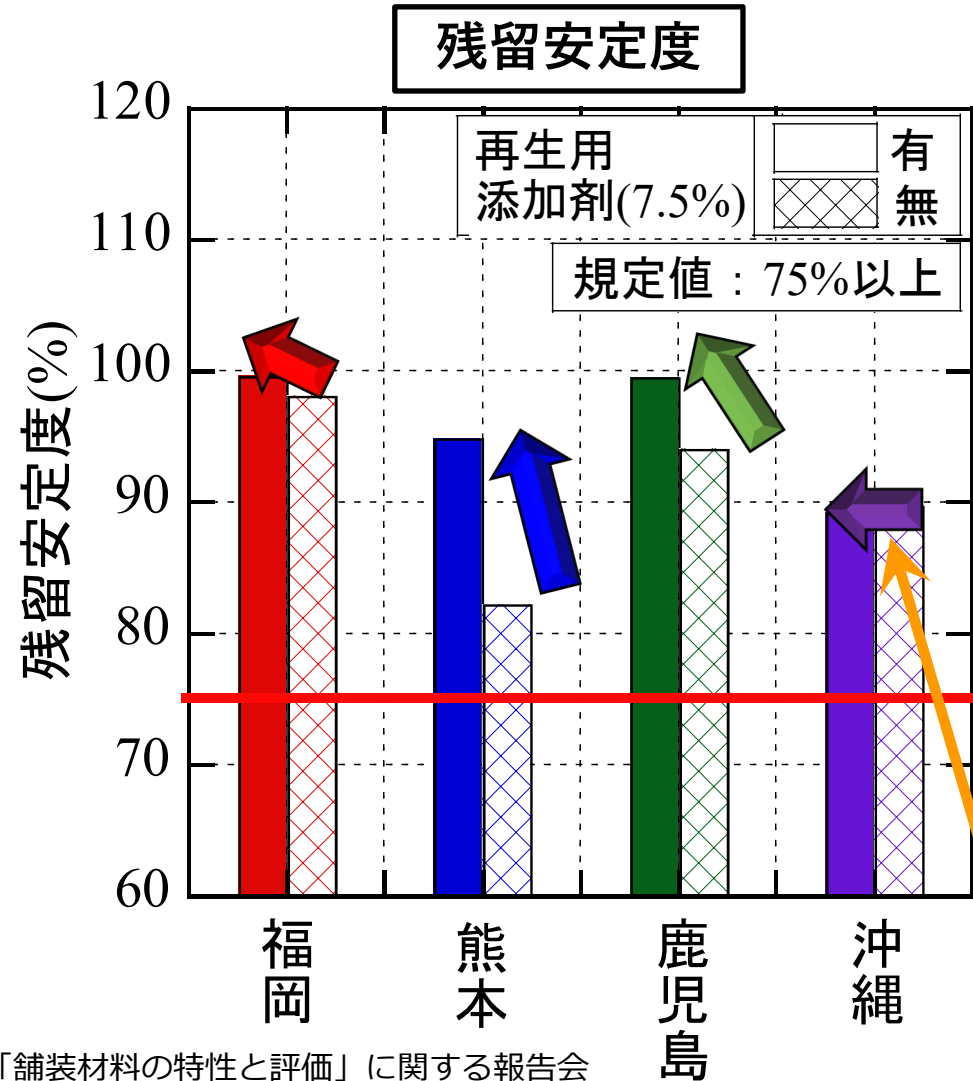
針入度が高いため

最適As量の0.4%の削減効果

➡ 旧Asを把握し、最適な再生用添加剤量を添加することで、最適As量の削減効果があることが示された。

耐水性

- 再生用添加剤の添加の影響
- 九州地区の再生骨材の違いによる影響



水浸養生：60°C 30min (標準マーシャル)

水浸養生：60°C 48h (水浸マーシャル)

$$\text{残留安定度 (\%)} = \frac{\text{60°C、48時間水浸後のマーシャル安定度 (kN)}}{\text{標準マーシャル安定度 (kN)}} \times 100$$

● 残留安定度：アスファルト混合物の水浸抵抗性

| 地域  | 針入度 (1/10mm) | 旧As量 (%) |
|-----|--------------|----------|
| 福岡  | 22           | 4.52     |
| 熊本  | 21           | 4.47     |
| 鹿児島 | 29           | 4.77     |
| 沖縄  | 21           | 4.98     |

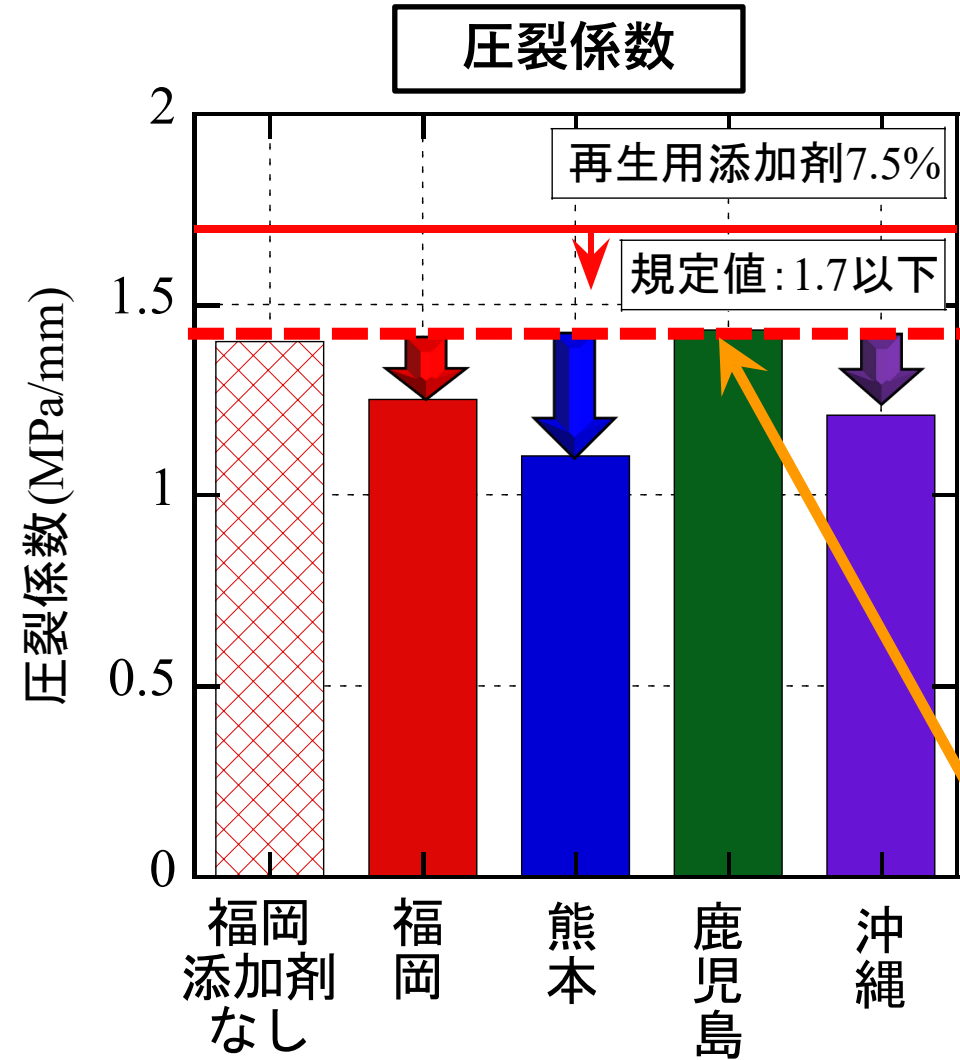
旧Asが多いため

再生用添加剤の添加により、空隙率が低下し、同等以上の残留安定度を示す。

高い耐水性を持つことが確認できる。

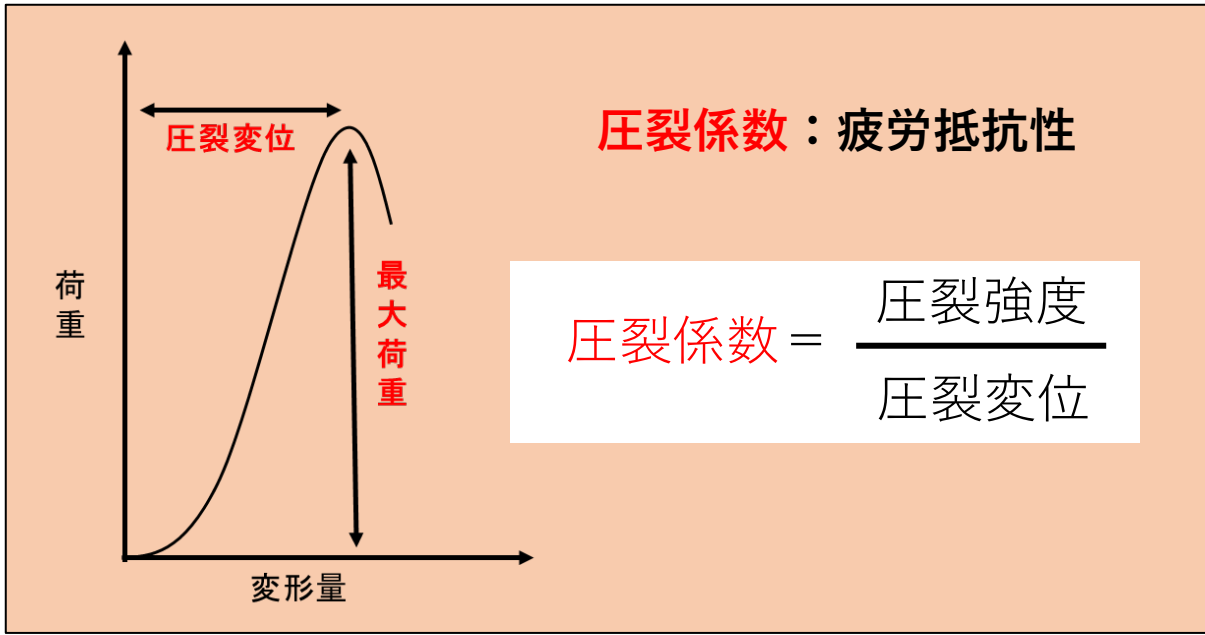
疲労抵抗性

- 再生用添加剤の添加の影響
- 九州地区の再生骨材の違いによる影響



| 地域  | 針入度 (1/10mm) | 旧As量 (%) |
|-----|--------------|----------|
| 福岡  | 22           | 4.52     |
| 熊本  | 21           | 4.47     |
| 鹿児島 | 29           | 4.77     |
| 沖縄  | 21           | 4.98     |

針入度が高いため



再生用添加剤の添加により、**同等以下の圧裂係数**を示し、粘性度の増加が確認ができる。

疲労抵抗性の向上が確認できる。

## 九州地区の再生骨材における再生改質アスファルト混合物に 再生用添加剤を混合した場合の材料特性の評価



- 混合物**性状・強度**及び添加するAs量（**最適As量**）の変化



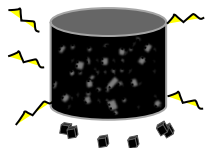
**旧Asを把握**し、最適な再生用添加剤量を添加することで、  
**最適As量の削減効果**があることが示された。



- 天候変化に伴う雨水に対する**耐水性**



再生用添加剤の添加により、**空隙率が低下**しすることから  
**同等以上の残留安定度**を示し、**高い耐水性を持つこと**が示された。



- わだち掘れやひび割れに対する**疲労抵抗性**



再生用添加剤の添加により、**同等以下の圧裂係数**を示し  
**粘性度が増加**することから**疲労抵抗性の向上**が示された。

以上より



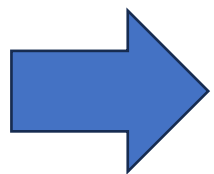
**九州地区の再生骨材**における改質再生As混合物への**再生用添加剤の添加は有効的**であり、**再生骨材の利用拡大に貢献できる可能性**が示唆された。



# 舗装再生便覧の改訂の目的

## 永続的なリサイクルへ向けた対応

- ▶ 舗装材料のリサイクルは、普及後40年以上が経過し、リサイクルされた材料が複数回繰り返し利用されている時代
- ▶ 再生混合物の再生骨材配合率が上昇傾向にあり、アスファルト再生骨材には劣化が蓄積され再生利用しにくい状況
- ▶ 改質アスファルト混合物の出荷比率も高い状態で推移
- ▶ また、わが国が掲げる2050年のカーボンニュートラル社会の実現のためにも将来にわたって現状のリサイクルを継続して実施する必要



**繰り返し再生利用する、改質混合物由来の再生骨材を有効利用するために必要な技術・情報について、最新の知見をもとに「舗装再生便覧」に反映**

# 舗装再生便覧の構成

## 平成22年版と同様

### ➤ 「第2章 プラント再生舗装工法」

圧裂試験方法や圧裂係数を用いた再生アスファルト混合物の配合設計方法や永続的なりサイクルのための留意点

### ➤ 「第3章 現位置での舗装再生工法」

主に路上路盤再生工法を記述し、その他の工法として、路上表層再生工法や路面の再生を目的とした維持工法

### ➤ 「第4章 他産業再生資材の利用」

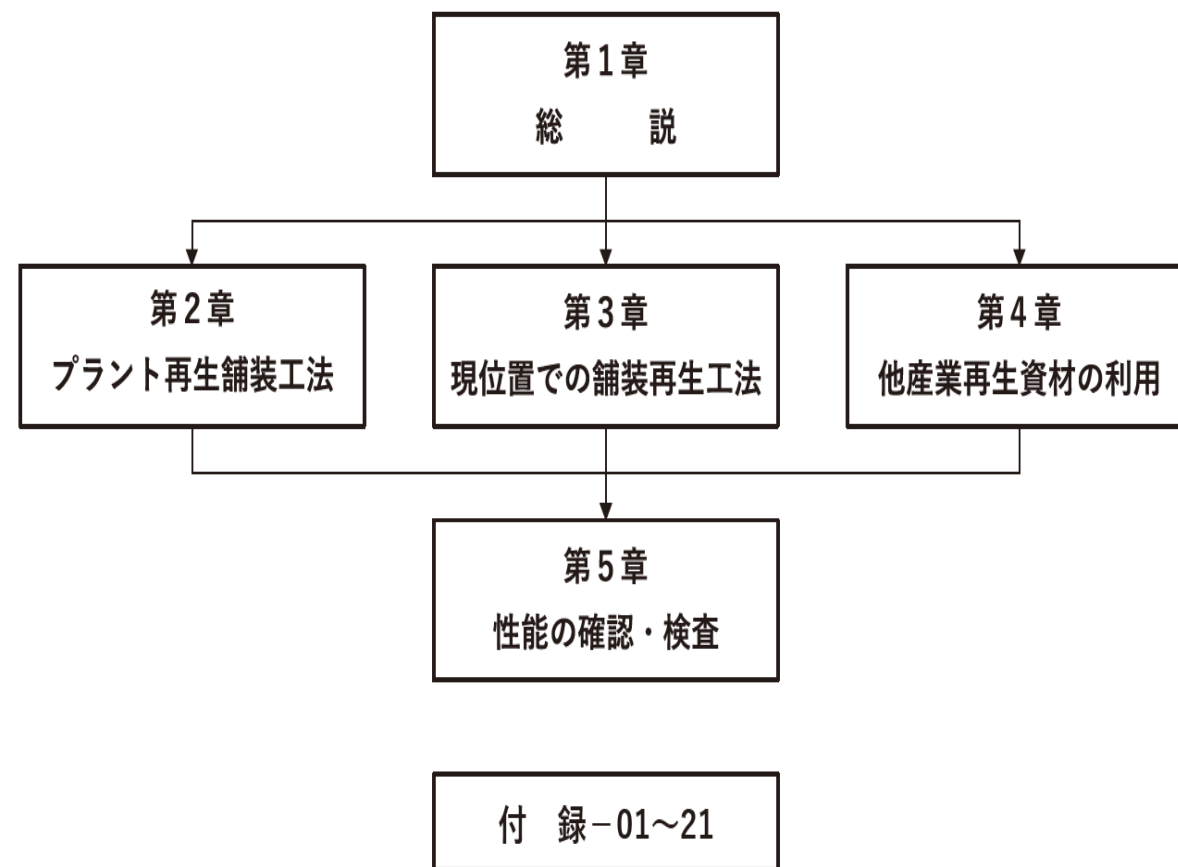
他産業再生資材を舗装で利用する場合の留意点と利用例

### ➤ 「第5章の性能の確認・検査」

再生工法における性能の確認と検査に関する留意点

### ➤ 「付録」

再生工法に関する情報や、配合設計や工法の検討事例など



# 舗装再生便覧の主な改訂箇所

## 圧裂試験方法

・舗装再生便覧（平成22年版）で導入された圧裂試験  
→試験によって得られる圧裂係数の誤差が大きいなどの問題が指摘。

・それを踏まえ、（国研）土木研究所と（一社）日本アスファルト合材協会が研究を重ね、その成果を元に試験条件を改正

※改正した圧裂試験方法を用いた圧裂係数の求め方については付録-02に詳細を記載

## 付録

・実務における利便性を高めること、今後の研究開発を促すことを目的に、従前の内容を見直しつつ、再生技術の最新の9つの研究成果を新たに追加

| 項目      |         | 平成22年版   | 令和6年版（改訂版）   |
|---------|---------|----------|--|
| 試験機     | モータの仕様  | 指定なし     | 荷重載荷時の変位速度の低下が5%未満となるようにモータ回転数を制御可能な機構が組み込まれたもの  |
|         | 試験機の剛性  | 指定なし     | 最大荷重 49kN 以上   |
| 供試体作製条件 | 再生骨材の粒度 | 13-0mm   | 13-5mm, 5-0mmに分級後, 1:1で配合  |
|         | 供試体作成   | (省略)     | 再生骨材の養生温度, 養生時間, 突固め温度などを細かく明記<br>※加熱による劣化, 突固め時の温度低下を考慮   |
|         | 供試体厚さ   | 63.5mm   | 50.0±1.0mm   |
| 圧裂試験    | 空隙率     | 指定なし     | ・かさ密度（水中の見かけ質量を用いて算出した容積により算出した密度）を用いて空隙率を求めた場合 7%以下<br>・ノギス法（ノギスを用いて算出した容積により算出した密度）により空隙率を求めた場合 9%以下 |
|         | 圧裂試験条件  |          |  |
| 圧裂試験    | 載荷速度    | 50mm/min | ←（変更なし）  |
|         | 試験温度    | 20℃      | 25℃  |
|         | 変位測定箇所  | 指定なし     | 供試体近傍  |

# 舗装再生便覧の講習会のお知らせ

- ・開催日時：6月28日（金）13:30～17:05
- ・開催方法：東京会場（日本道路協会会議室70名）+ オンデマンド※
- ※オンデマンド配信期間：7月9日（火）～9月30日（月）
- ・参加費：会員8,000円、非会員12,000円
- ・申し込み：道路協会HPより

| 時刻    |       | 内容  | 講師  |
|-------|-------|---|---|
| 13:30 | 13:50 | 開会挨拶                                      | 日本道路協会 舗装委員会 環境・再生利用小委員会<br>委員長 神谷 恵三     |
| 13:50 | 14:20 | 舗装の永續リサイクルに<br>向けた取り組み                    | 国立研究開発法人土木研究所<br>先端材料資源研究センター グループ長 新田 弘之 |
| 14:20 | 15:05 | 舗装再生便覧(令和6年版)<br>1章, 2章, 付録01, 02, 03, 04 | 日本道路協会 舗装委員会<br>環境・再生利用小委員会 再生WG          |
| 15:05 | 15:35 | 新規付録の紹介<br>付録05, 06, 07, 08, 09           | 日本道路協会 舗装委員会<br>環境・再生利用小委員会 再生WG          |
| 15:35 | 15:50 | 休憩  |   |
| 15:50 | 16:15 | 舗装再生便覧(令和6年版)<br>3章, 付録13, 14, 15, 16     | 日本道路協会 舗装委員会<br>環境・再生利用小委員会 再生WG          |
| 16:15 | 16:25 | 舗装再生便覧(令和6年版)<br>4章, 5章                   | 日本道路協会 舗装委員会<br>環境・再生利用小委員会 再生WG          |
| 16:25 | 16:35 | 日本道路協会の<br>舗装関連図書等の紹介                     | 日本道路協会 舗装委員会<br>環境・再生利用小委員会 再生WG          |
| 16:35 | 17:05 | 質疑応答・意見交換<br>(会場参加者のみ)                    | 日本道路協会 舗装委員会<br>環境・再生利用小委員会 再生WG          |

「舗装材料の特性と評価」に関する報告会

## 会場/ライブ配信

開催日：令和6年6月28日（金）13:30～17:05  
開催場所：日本道路協会 会議室（東京都千代田区麹町3-3-1(尚友会館)7階）  
およびライブ配信  
定員：日本道路協会会議室70名

- ・講習会終了後、日本道路協会の会議室にて参加の皆様には、便覧執筆者との質疑応答の時間を設けます（ライブ配信では、質疑応答の配信はございません）。
- ・講習会は、「舗装再生便覧(令和6年版)」に沿ったスライドで解説します。受講にあたっては、別途、書籍をお手元にご用意いただけると理解が深まります。（会場での書籍の販売は行いません）
- ・会場で受講される方、ライブ配信にて視聴される方には後述する「オンデマンド配信」を視聴するためのユーザーIDとパスワードもお配りします。

### 申し込み方法

参加申し込みは、下記の参加申込フォームからお申込みください。

- ・申し込み受付期間は、令和6年4月19日～6月14日です。会場の定員になり次第、締め切りさせていただきますので、ご了承ください。
  - ・後日、聴講券をお送り致します。
- 会場参加：<https://www.japan-road-association.jp/Events#EventNo-164>  
ライブ配信：<https://www.japan-road-association.jp/Events#EventNo-165>

### 参加費

参加費：会員 8,000円、非会員 12,000円

- ・参加費は請求書到着後お振込みください。一度納入された参加費はいかなる場合も返金いたしかねます。



会場参加 ライブ配信

## オンデマンド配信

会場での講習会を録画し、インターネットで配信します。

申込期間：令和6年4月19日（金）～令和6年9月30日（月）

視聴期間：令和6年7月9日（火）～令和6年9月30日（月）

- ・講習会は、「舗装再生便覧(令和6年版)」に沿ったスライドで解説します。受講にあたっては、別途、書籍をお手元にご用意いただけると理解が深まります。

### 申し込み方法

参加申し込みは、下記の参加申込フォームからお申込みください。

- ・お申込み頂いた方には、視聴サイトにログインするためのユーザーIDとパスワードを配布いたします。

<https://www.japan-road-association.jp/Events#EventNo-166>

### 参加費

参加費：会員 8,000円、非会員 12,000円

- ・一度納入された参加費はいかなる場合も返金いたしかねます。



オンデマンド配信

# 「舗装材料の特性と評価」に関する報告会

## 今後の活動について

2024.6.6

川端 伸一郎（北海道科学大学）

- 2004年 舗装材料小委員会（第1期） 発足
  - ⇒ アスファルト舗装の材料を対象に課題を整理
    - アスファルト混合物分科会と路床・路盤分科会で活動
    - ・ 2009年「調査研究報告書の公開と報告会の実施」
  
- 2009年 舗装材料小委員会（第2期）
  - ⇒ 舗装工学ライブラリの出版（活動目標）
    - ・ 2015年「ライブラリ13a アスファルトの特性と評価」
    - ・ 2015年「ライブラリ13b 路床・路盤の特性と評価」

## ➤2016年 舗装材料小委員会（第3期）

- ・ 舗装材料の合理的で高度な評価方法の提案
- ・ 舗装標準示方書への最新情報の反映

⇒ 2024年 「舗装材料の特性と評価」に関する報告会

## 【今後について】

アスファルト混合物分科会

路床・路盤分科会

リサイクル材料分科会

新たな体制で再出発

## 新体制へ：既設小委員会への統合・小委員会の新設

### 舗装材料小委員会（解散）

- ・ アスファルト混合物分科会
- ・ 路床・路盤分科会
- ・ リサイクル材料分科会

### アスファルト舗装小委員会（既設）

### 橋面舗装小委員会（既設）

### 路床・路盤小委員会（2024年新設）

アスファルト舗装設計小委員会 ⇒ アスファルト舗装小委員会（2023年名称変更）

アスファルト混合物分科会橋面舗装WG ⇒ 橋面舗装小委員会（2022年設立）



## ➤2024年 路床・路盤小委員会 発足

- ・2024年5月31日締切 委員公募
- ・2024年6月18日 第1回小委員会 活動期間3年

## ➤活動内容

- ・路床・路盤に影響を及ぼす事象の解明
- ・環境の変化による路床・路盤材料の特性
- ・路床・路盤の剛性の合理的評価方法

# 「舗装材料の特性と評価」に関する報告会

*END*