

# 一般国道5号新稲穂トンネル R側仁木工区工事での 品質確保のための様々な取組み（北海道開発局）

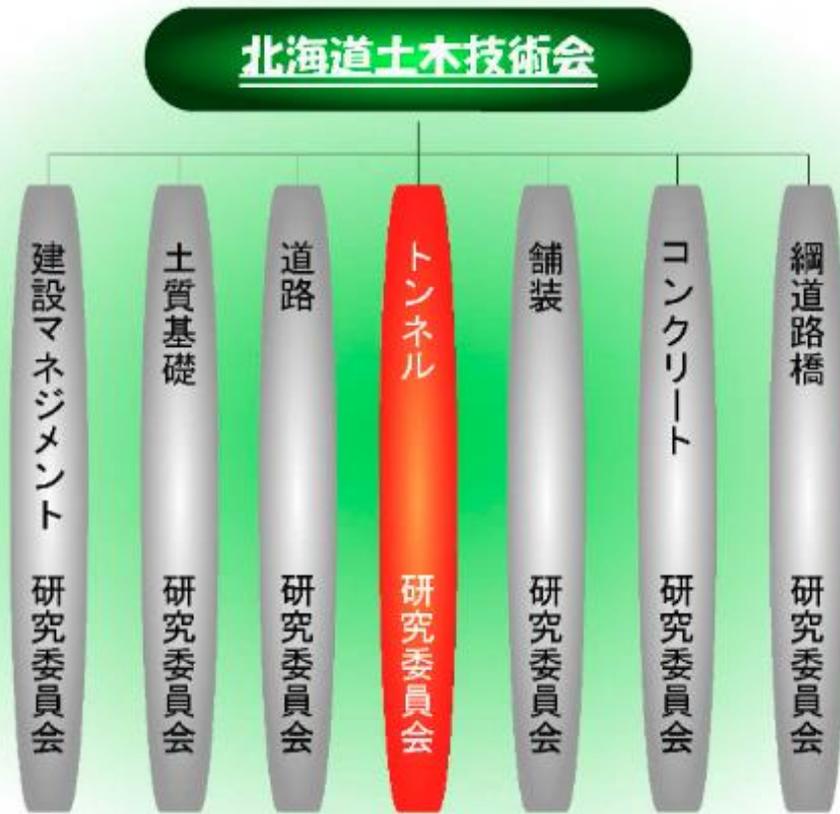
北海道土木技術会 トンネル研究委員会 技術小委員会

TMS分科会

西松建設(株) 三井

寒地土木研究所 吉田

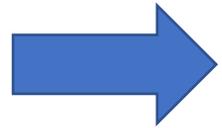
北海道土木技術会 トンネル研究委員会 TMS分科会とは？  
⇒産官学で構成する委員会



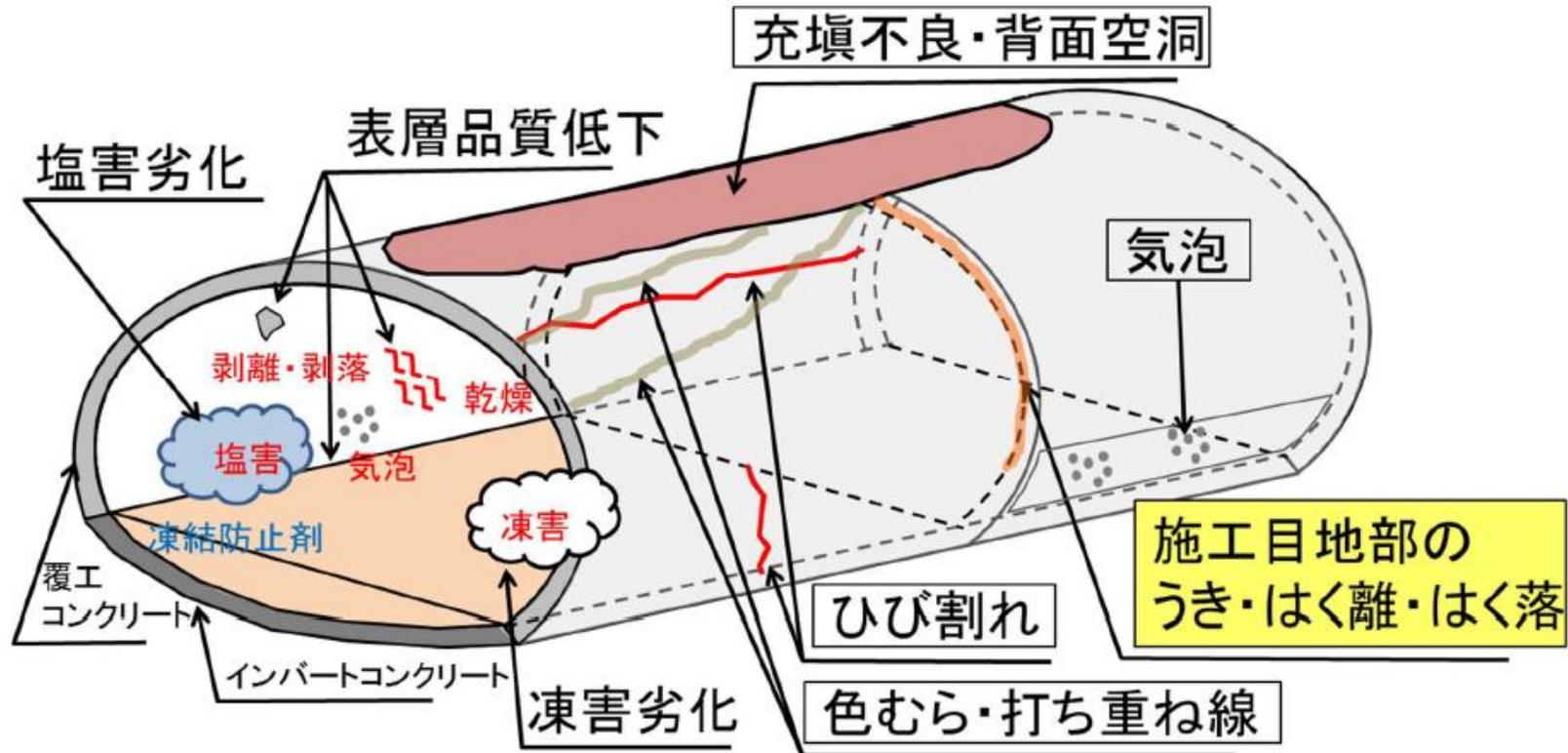
トンネルのロングライフ化技術、予防保全法や凍結防止工法など、主として積雪寒冷地におけるトンネルの維持管理に関連したテーマについて調査・研究

# 覆工コンクリートの不具合事例

定期点検結果より、施工に起因する不具合が多数報告されている



基本に準拠した施工を行い、覆工本来の品質を確保することが必要



## 覆工コンクリートの施工上の問題点

- ・ 側壁・アーチ部はコンクリートを妻部まで横流しする作業
- ・ 天端部はコンクリートを吹き上げ方式で打込む

⇒横流し作業時のバイブレータの過剰な締固めにより、粗骨材の沈降や材料分離が発生

**エントレインドエアの消失による、耐凍害性の低下**

⇒ブリーディングやノロが大量発生し、妻部や天端部に集中  
**密実性が低下**

**水はしり・砂すじ・目地不良**

⇒吹き上げ方式では、人力による締固めが難しい

**肩部と天端の境界に打重ね不良（コールドジョイント）**

**締固め不足により密実性の低下、充填不良（空隙）**

うき  
剥離  
剥落  
ひび割れ

# TMS分科会の2022年度活動テーマ

## 覆工コンクリートの品質確保の取り組み

「コンクリートの締固めを行いづらい環境（トンネル覆工等）」により選定された、コンクリートの品質向上に向けた試行対象工事⇔新稲穂トンネルが対象

②令和2-3年度試行(令和3年12月までに複数回のコンクリート打設を実施)

No.	地整番号	工種	現場状況	対象工事名	請負者	ランク	金額(千円)	工期			試行実施可能期間			試行期間	
								自	～	至	自	～	至		
1	81	②トンネル	2)締固めを行いにくい環境	一般国道5号共和町新稲穂トンネルR側仁木工区工事	西松・草別JV	A	426	H31.2	～	R3.11	R3.2	～	R3.6	②R2-3年度試行	小樽
2	81	①橋梁下部	5)冬・夏の気温が著しく低下又は上昇	一般国道5号仁木町道2番地通橋下部工事	阿部建設(株)	B	17	R2.7	～	R3.3	R2.11	～	R3.2	②R2-3年度試行	小樽
3	81	①橋梁下部	5)冬・夏の気温が著しく低下又は上昇	旭川十勝道路 中富良野町 シブケウシ川下部工事	(株)増山建設	C	13	R2.10	～	R3.3	R2.12	～	R3.3	②R2-3年度試行	旭川
4	81	①橋梁下部	5)冬・夏の気温が著しく低下又は上昇	北海道横断自動車道 釧路市 鶴野橋A1橋台外一連工事	小針土建(株)	AB	24	R2.3	～	R3.3	R3.1	～	R3.2	②R2-3年度試行	釧路
5	81	①橋梁下部	5)冬・夏の気温が著しく低下又は上昇	北海道横断自動車道 陸別町 日宗改良工事	徳井建設工業(株)	B	17	R2.4	～	R3.3	R2.10	～	R3.2	②R2-3年度試行	帯広
6	81	①橋梁下部	5)冬・夏の気温が著しく低下又は上昇	遠軽北見道路 遠軽町 記念跨道橋下部工事	北辰土建(株)	B	15	R2.9	～	R3.3	R2.12	～	R3.3	②R2-3年度試行	網走
7	81	②トンネル	2)締固めを行いにくい環境	一般国道239号 苫前町 霧立峠トンネル工事	岩田地崎・堀口 特定建設工事 共同企業体	A	171	R2.2	～	R3.9	R3.4	～	R3.9	②R2-3年度試行	留萌

1. 表層目視評価を用いたPDCAによる表層品質の継続的な向上

⇒昨年度のGood Practiceで報告済

2. 高品質配合による施工性・品質の向上⇔今回報告

# 高品質配合による施工性・品質の向上

[目的]施工性及び品質を向上できる配合（混和材）を選定して、初期欠陥の無い高品質な覆工を構築する。

[期待する項目]

- ・ブリーディングの減少（水はしり・砂すじ）
- ・ワーカビリティの改善（打ち重ね線）
- ・色むらの改善
- ・緻密性向上（塩分浸透抑制）
- ・材料分離抵抗性向上による目地部近傍の骨材粒度の確保

施工性

品質



材料分離抵抗性を改善できる混和材の選定

## 高品質配合による施工性・品質の向上

材料分離抵抗性を改善できる混和材の選定

⇒セメントよりも微粒な粉体（混和材）の利用

### 1. フライアッシュ・高炉スラグ微粉末

比表面積が3000～4000cm<sup>2</sup>/gとセメント4000cm<sup>2</sup>/gと変わらない：△

強度発現が遅延する⇒早期脱枠を行う覆工：×

### 2. 火山ガラス微粉末

比表面積が6000～14000cm<sup>2</sup>/gで微粒のため材料分離抵抗性に優れる：○

比表面積が微粒のため反応性が高く、添加量が少量でも初期強度発現の遅れもなく、長期的な強度の増加は他の混和材と同等以上：○

硬化後のコンクリートは緻密性が向上：○

⇒火山ガラス微粉末の試験施工を実施

# 実覆工打込みまでの配合決定経過

## 1. 室内試験練り

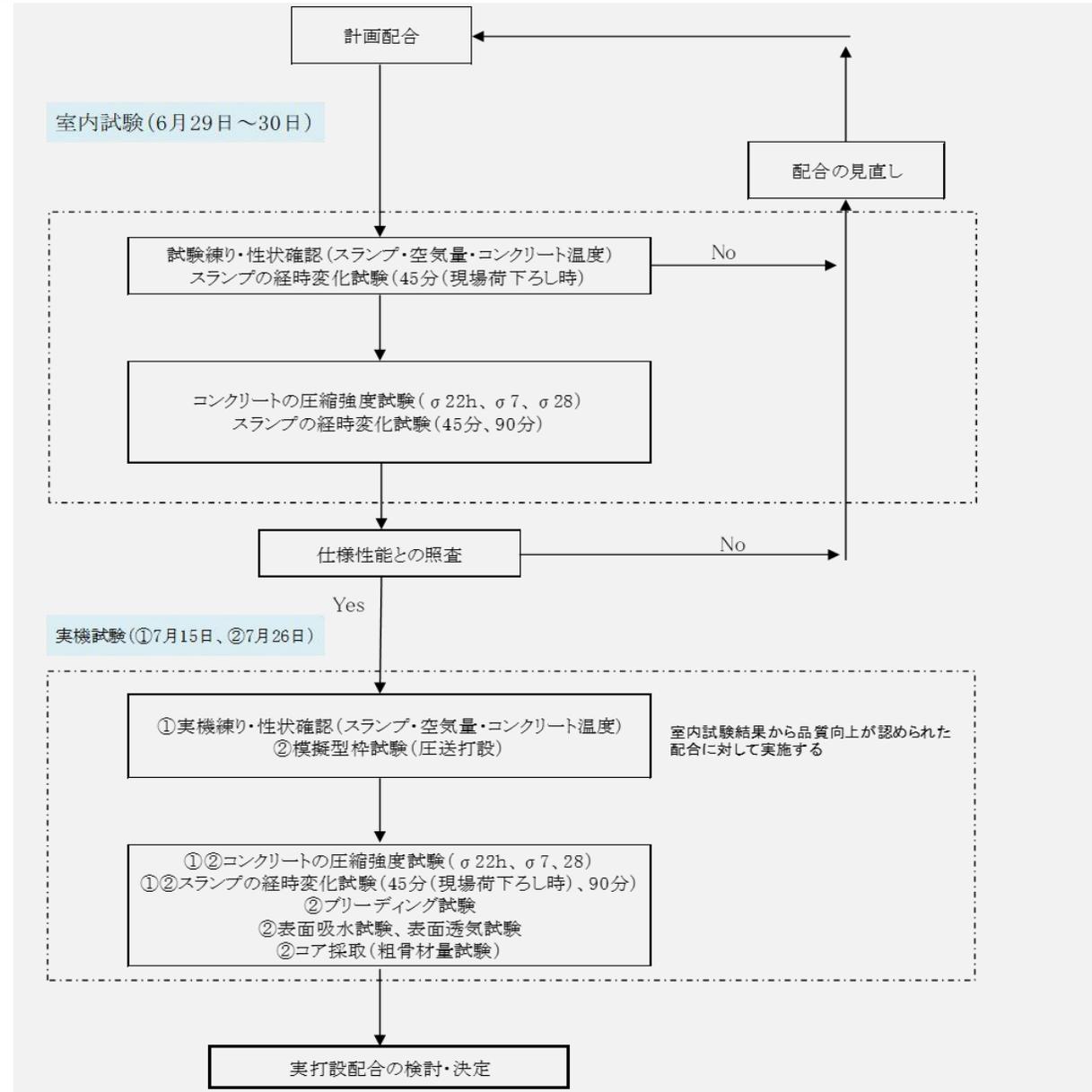
火山ガラス微粉末をセメント置換した配合を室内試験で決定

## 2. 実機試験練り

室内試験決定配合を実機練りして配合を決定

## 3. 模擬型枠試験

1.5m × 5.0m × 0.3mの模擬型枠を用いて流動性を確認して、実覆工に打込みが可能であるか判断



# 1. 室内試験練り

現行配合27-18-20Nをベース  
(検討ケース)

- ・火山ガラス微粉末の品番  
(# 6000、 # 14000)

- ・セメント置換量 (10%、5%)

[試験結果]

運搬時間45分を考慮したスランプの経時変化試験で # 6000を使用した場合は、スランプロスが大きくワーカビリティの確保が難しいと判断



# 14000を使用

スランプロスは高性能AE減水剤で調整

配合	ケース	スランプロス (混和材添加率)
現行打設配合 27-18-20N	1-6	4.0cm (AE 減水剤 1.0%)
		
練り混ぜ直後 17.5cm		45 分後 14.0cm
シリカホワイト#6000 内割 10% 27-18-20N+10S	1-7	7.5cm 高性能 AE 減水剤 1.2%
		
練り混ぜ直後 21.0cm		45 分後 13.5cm
シリカホワイト#14000 内割 5% 27-18-20N+5S	3-4	2.0cm (高性能 AE 減水剤 1.65%)
		
練り混ぜ直後 22.5cm		45 分後 20.5cm

# 1. 室内試験練り

決定配合：27-18-20N + S5（火山ガラス微粉末5%内割置換）

ケースNo.	配合名	W/P	S/a	C	セメント 種別	SW シカ材付	P= C+SW	W	砕砂 S1	陸砂 S2	砕石20-5 G1	砕石40-20 G2	粗骨材 最大寸法	混和剤 種別	混和剤 添加率	混和剤 添加量	助剤 添加量
		%	%	kg		kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	mm		%	kg	
3-4	27-18-20N+S (5%置換)	53.5	52	312	N	15	327	175	561	371	862	-	20	SP	1.65	5.40	4A
						シリカホワイト品番：#14000											

[スランプの経時変化]

練り混ぜ直後のスランプ22.5cm⇒45分後20.5cm

**スランプロス2.0cm（高性能AE減水剤の添加量で調整）**

[型枠脱型時の圧縮強度]

型枠脱型時圧縮強度（22時間強度） $3.3\text{N/mm}^2 > 0.8\text{N/mm}^2$ を確認

## 2. 実機試験練り

決定配合：27-18-20N + S5（火山ガラス微粉末5%内割置換）

配合	ケース	スランプロス（混和材添加率）
実機試験練り決定配合 27-18-20N	実機-2	3.0cm（高性能AE減水剤 1.8%）

	→		→	
練り混ぜ直後 23.0cm		45分後 20.0cm		90分後 16cm（参考値）

[スランプの経時変化]

練り混ぜ直後のスランプ23.0cm ⇒ 45分後20.0cm

**スランプロス3.0cm（高性能AE減水剤の添加量で調整）**

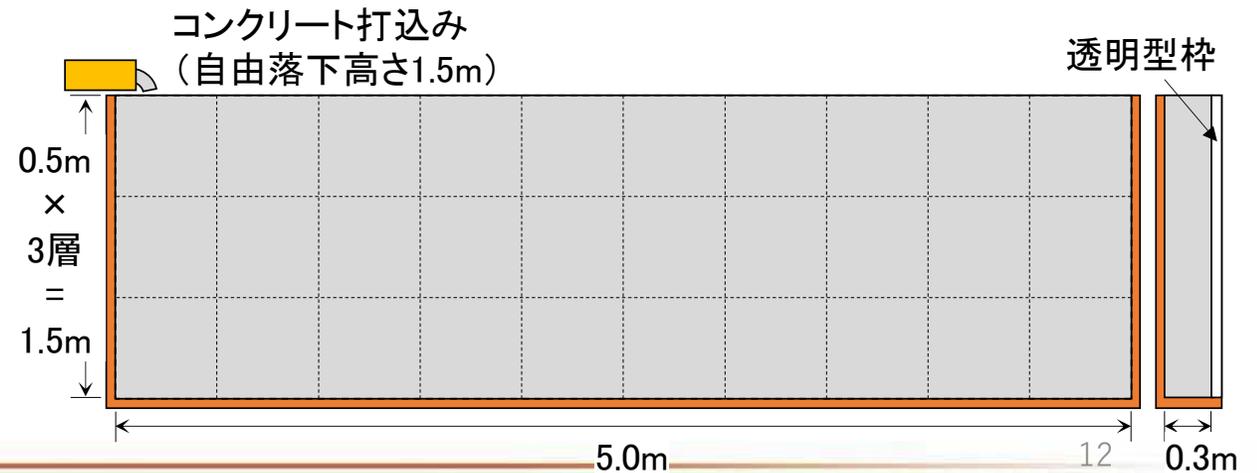
### 3. 模擬型枠を用いた試験施工

[目的] コンクリートを模擬型枠に打込み、流動性を確認することで、実覆工への打込みが可能であるか確認

[模擬型枠]

セントルの側壁部分を模擬した型枠を使用

幅 0.3m  
高さ1.5m  
長さ5.0m  
(セントル長の1/2)



### 3. 模擬型枠を用いた試験施工

#### [試験ケース]

ケース	備考
模擬-1 24-15-40N (T-1P(2))	北海道開発局の標準配合の性能を確認する
模擬-2 27-18-20N (現行配合)	現場で実打設している現行配合の性能を確認する
模擬-3 27-18-20N+S5 (決定配合)	決定配合の性能を確認し、打込みが可能か確認する

#### [品質試験項目]

- ・コンクリートのブリーディング試験方法 (JIS A 1123)
- ・表層目視評価
- ・表面吸水試験 (SWAT)
- ・表層透気試験 (トレント法)
- ・コア採取による粗骨材量の確認

### 3. 模擬型枠を用いた試験施工

[打込み要領]



- ①1層目: 打込み箇所のコンクリート高さが1.0m程度となるまで打ち込んで自然流動勾配・距離を確認
- ②その後、打込み側から順にセントルの打設窓間隔を想定した1.5m毎に10秒間バイブレータで締固め、再度勾配等を確認



- ③2層目以降: 各層で0.5m高さになるように打込みと締固めを繰り返す

### 3. 模擬型枠を用いた試験施工

[ 模擬-1 : 標準配合24-15-40N (T-1P(2)) ] SL=15.0cm



無振動

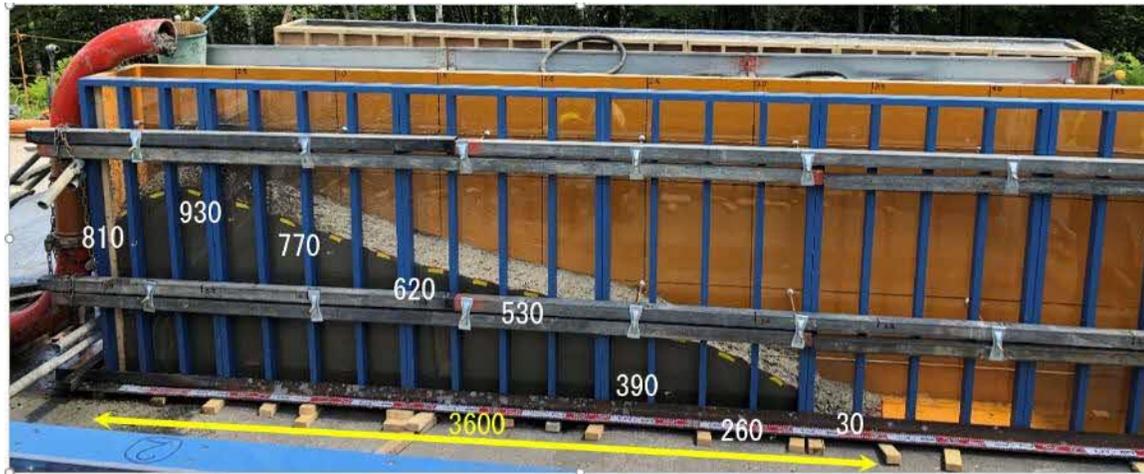


10秒締め

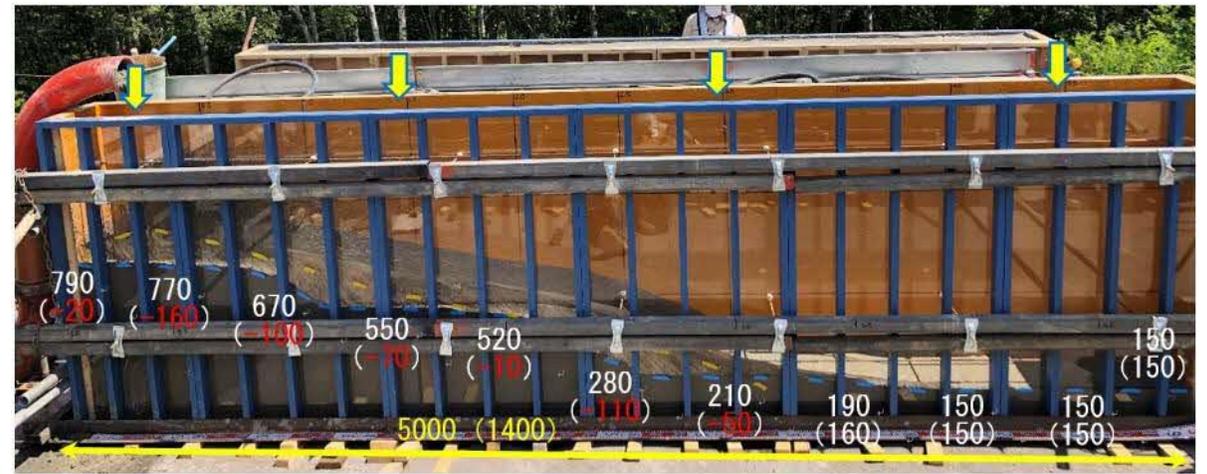
- ・ 無振動では3.5mまで流動、勾配はきつい
- ・ 10秒締め後は、バイブレータ挿入付近が階段状

### 3. 模擬型枠を用いた試験施工

[模擬-2：現行配合27-18-20N] SL=19.5cm



無振動



10秒締固め

- ・ 無振動では3.6mまで流動、勾配は模擬-1より緩い
- ・ 10秒締固め後は、5.0mまで流動、階段状も緩い

### 3. 模擬型枠を用いた試験施工

[模擬-3：決定配合27-18-20N+S5] SL=23.0cm



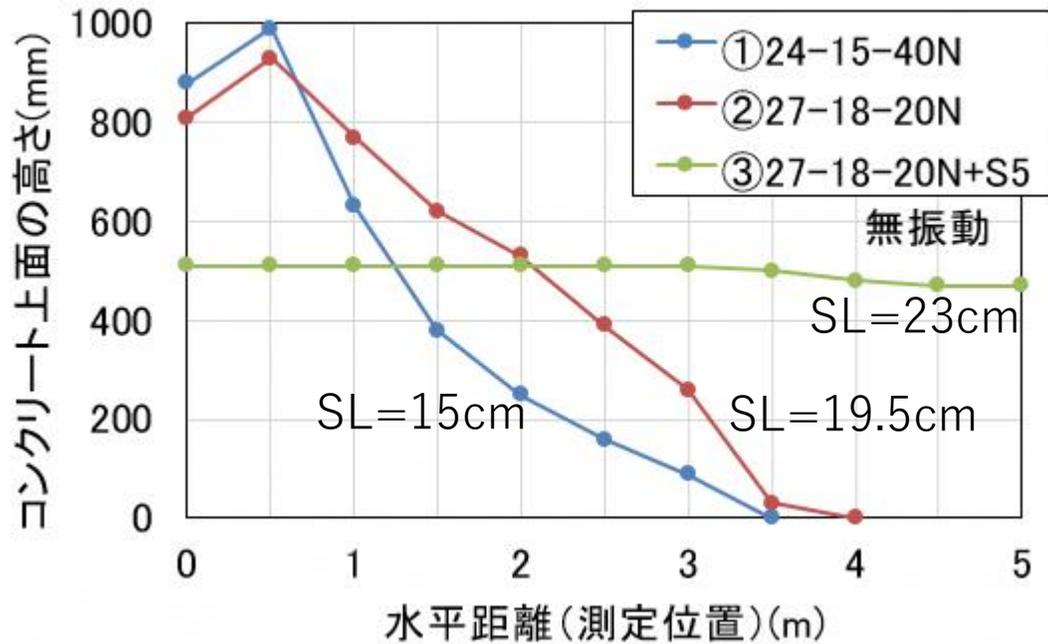
無振動

二層目 セルフレベリング

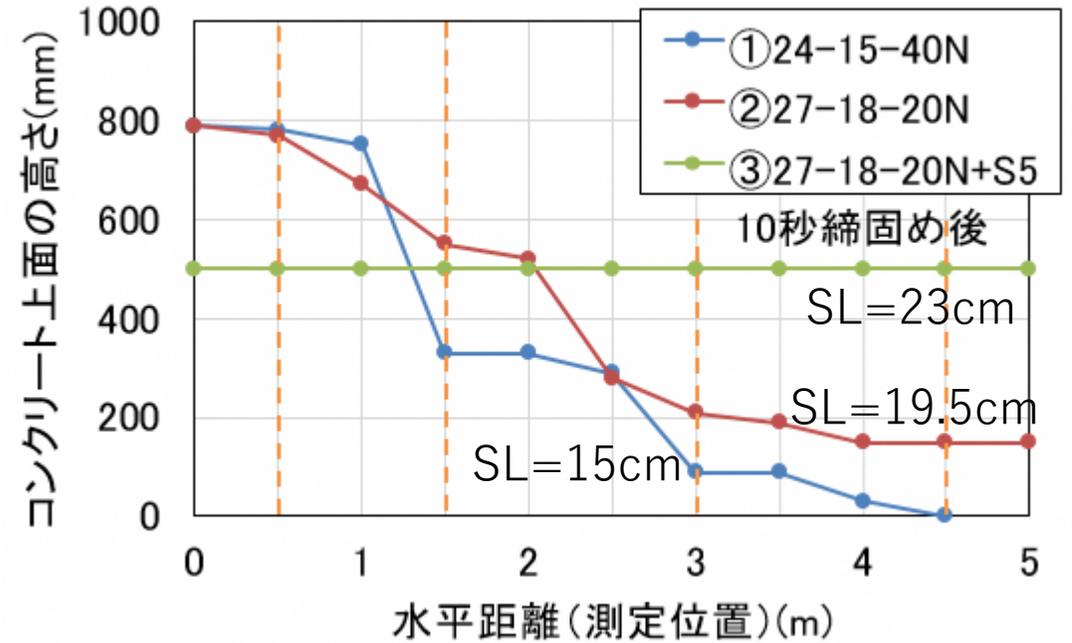
- ・ 無振動では5.0mまで流動、ほぼ水平な上面になる
- ・ スランプが23cmの場合、中流動コンクリートと同等の流動性を確保
- ・ 極めて施工性（充填性）が高い、材料分離も見られない

### 3. 模擬型枠を用いた試験施工

流動結果（無振動）



流動結果（10秒締固め後）



### 3. 模擬型枠を用いた試験施工

[ブリーディング試験]

ケース		ブリーディング率
模擬-1	標準配合	2.44%
模擬-2	現行配合	2.38%
模擬-3	決定配合	0.00%



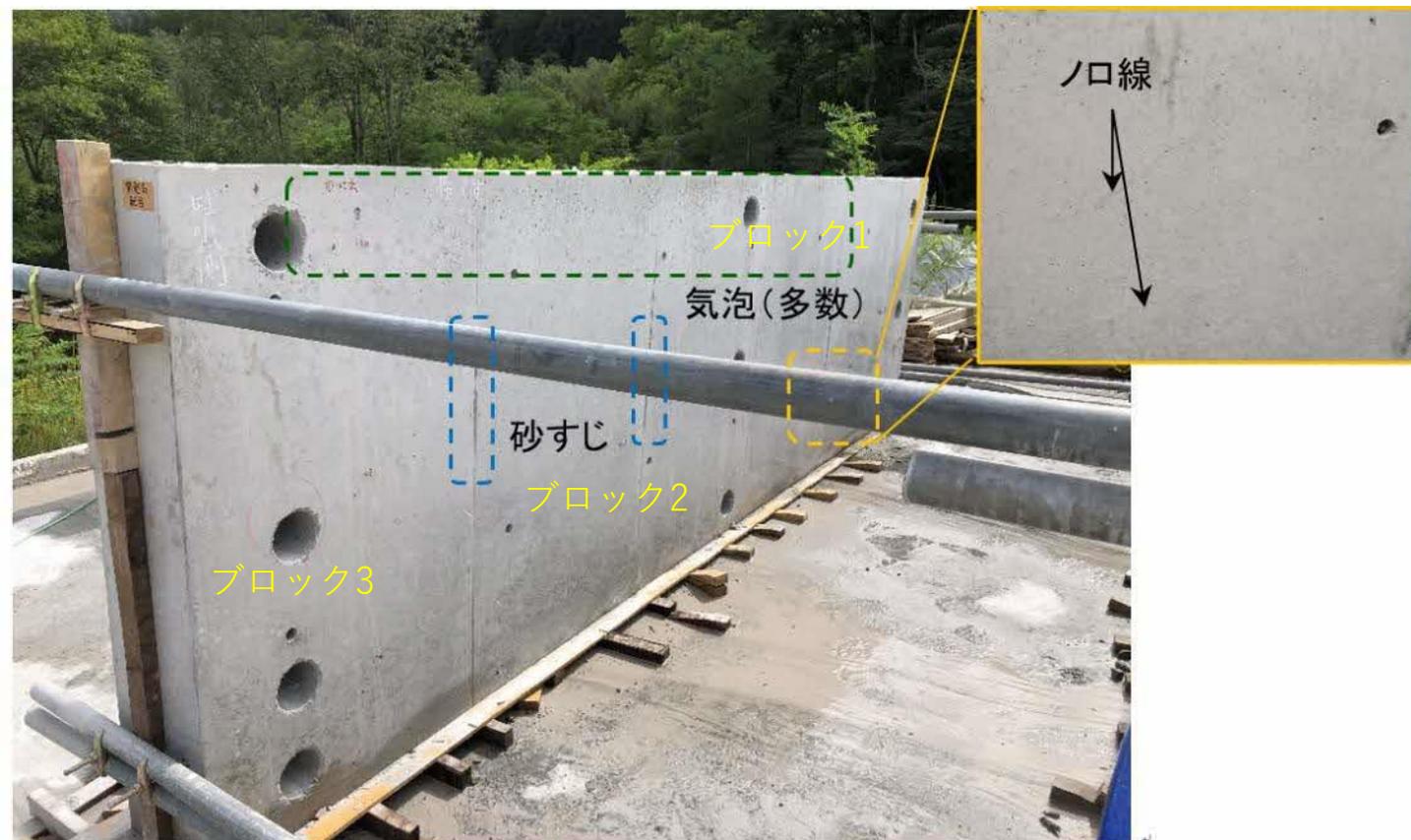
- ・火山ガラス微粉末を添加した決定配合は**ノンブリーディング**  
⇒材料分離抵抗性が向上することで、妻部の品質低下を防止  
（粗骨材密度の均質化）  
⇒ブリーディングの低減により、トンネル覆工天端部の空洞の発生を防止

### 3. 模擬型枠試験

[表層目視評価] 模擬-1：標準配合

目視評価結果（満点：4点）

項目	剥離	気泡	水はしり・砂すじ	色むら・打重ね線	合計
ブロック1	4.0	3.5	3.5	4.0	15.0
ブロック2	4.0	3.5	3.5	4.0	15.0
ブロック3	4.0	3.5	4.0	3.5	15.0
平均	4.0	3.5	3.67	3.83	15.0



### 3. 模擬型枠試験

[表層目視評価] 模擬-2：現行配合

目視評価結果（満点：4点）

項目	剥離	気泡	水はしり・砂すじ	色むら・打重ね線	合計
ブロック1	4.0	3.5	4.0	4.0	15.5
ブロック2	4.0	4.0	4.0	4.0	16.0
ブロック3	4.0	3.0	4.0	4.0	15.0
平均	4.00	3.50	4.00	4.00	15.5



### 3. 模擬型枠試験

[表層目視評価] 模擬-3 : 決定配合

目視評価結果 (満点 : 4点)

項目	剥離	気泡	水はしり・砂すじ	色むら・打重ね線	合計
ブロック1	4.0	4.0	3.5	4.0	15.5
ブロック2	4.0	4.0	3.5	4.0	15.5
ブロック3	4.0	4.0	4.0	4.0	16.0
平均	4.0	4.0	3.67	4.00	15.67



### 3. 模擬型枠試験

[表層目視評価]

目視評価結果（ブロック平均比較）

項目	剥離	気泡	水はしり・砂すじ	色むら・打重ね線	合計
①標準配合	4.00	3.50	3.67	3.83	15.50
②現行配合	4.00	3.50	4.00	4.00	15.50
③決定配合	4.00	4.00	3.67	4.00	15.67

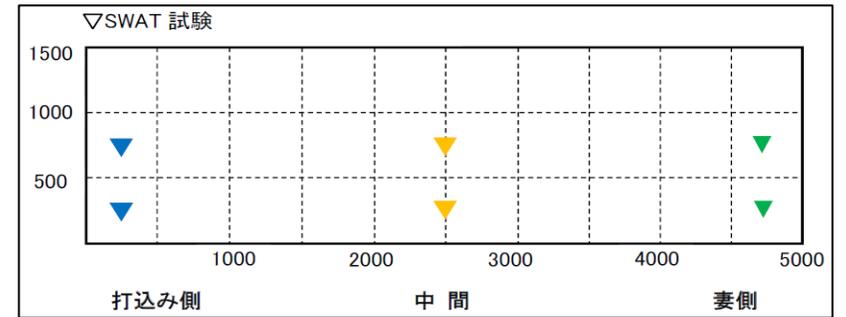
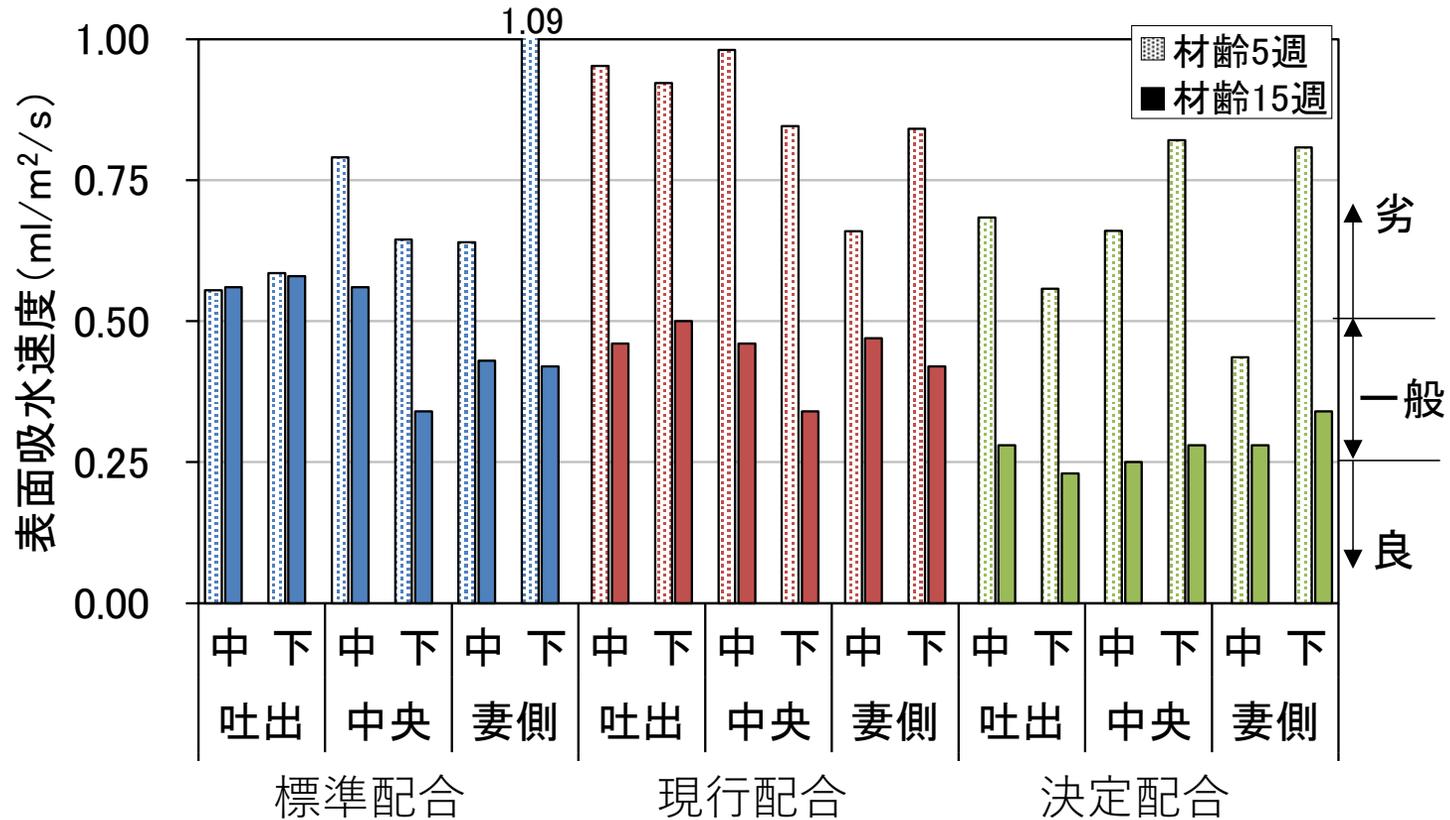


総合点は、標準配合 < 現行配合 < 決定配合

- ・気泡の減少は、火山ガラス微粉末添加による**材料分離抵抗性の向上効果**によるものと推察
- ・火山ガラス微粉末添加によりコンクリート表面が**白色系になる傾向**  
⇒ **美観性の向上**、覆工コンクリートに使用した場合の**採光性の向上を確認**

### 3. 模擬型枠を用いた試験施工

[表層品質試験] 表面吸水試験 (材齢5週、材齢15週)

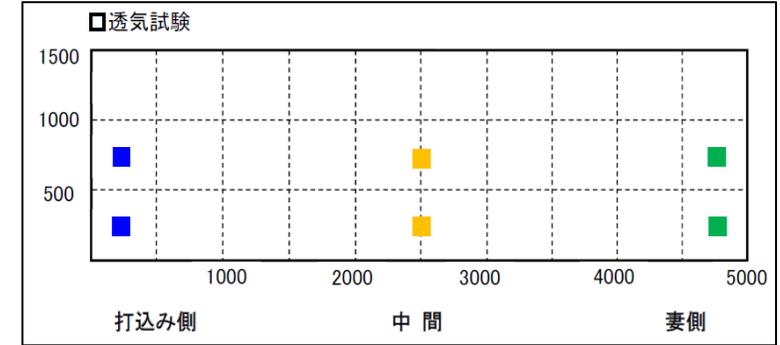
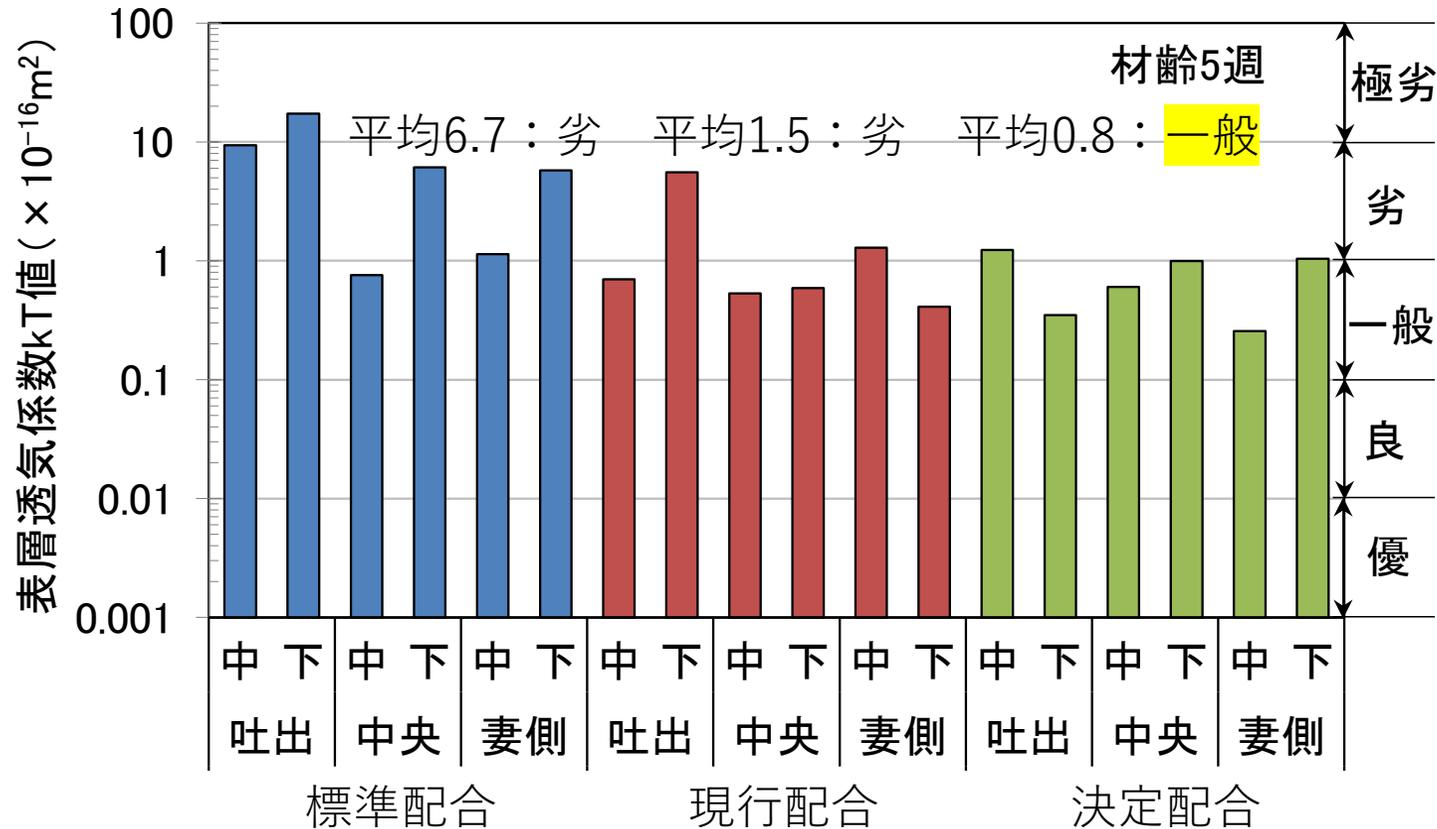


- 材齢5週の表面吸水速度は概ね「劣」評価 → 脱型後シート養生のみ → シートを撤去して雨が当たるように存置

- 材齢15週の表面吸水速度は全体に低下、決定配合は「一般～良」評価 → 表層品質改善を確認

### 3. 模擬型枠試験

[表層品質試験] 表層透気試験 (材齢5週)



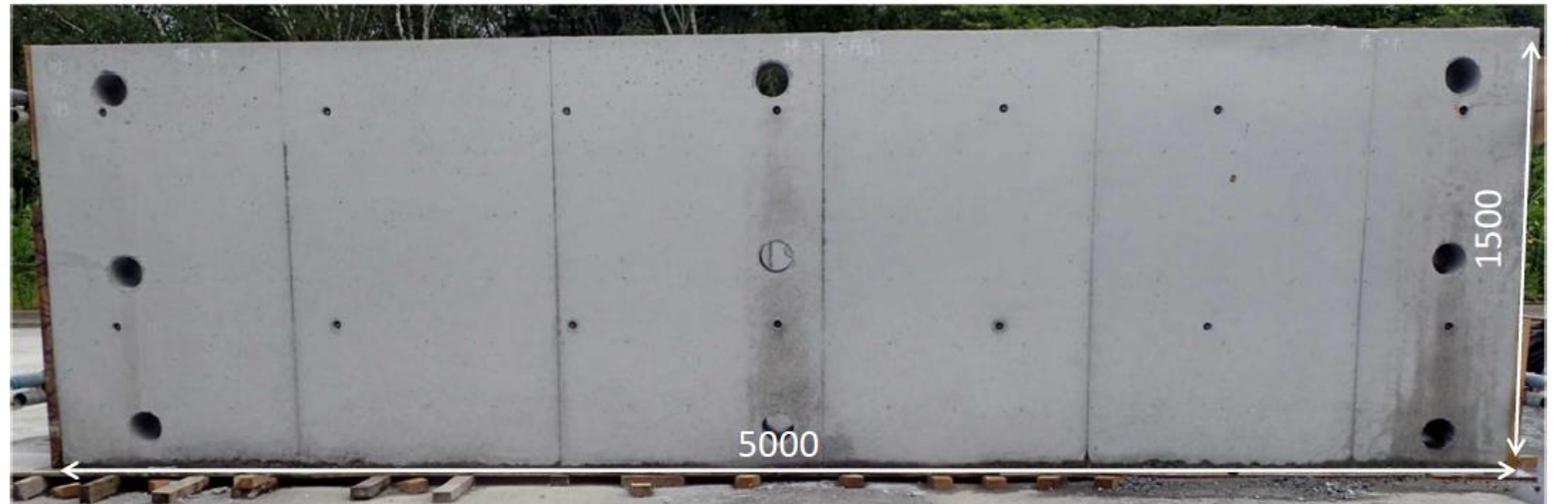
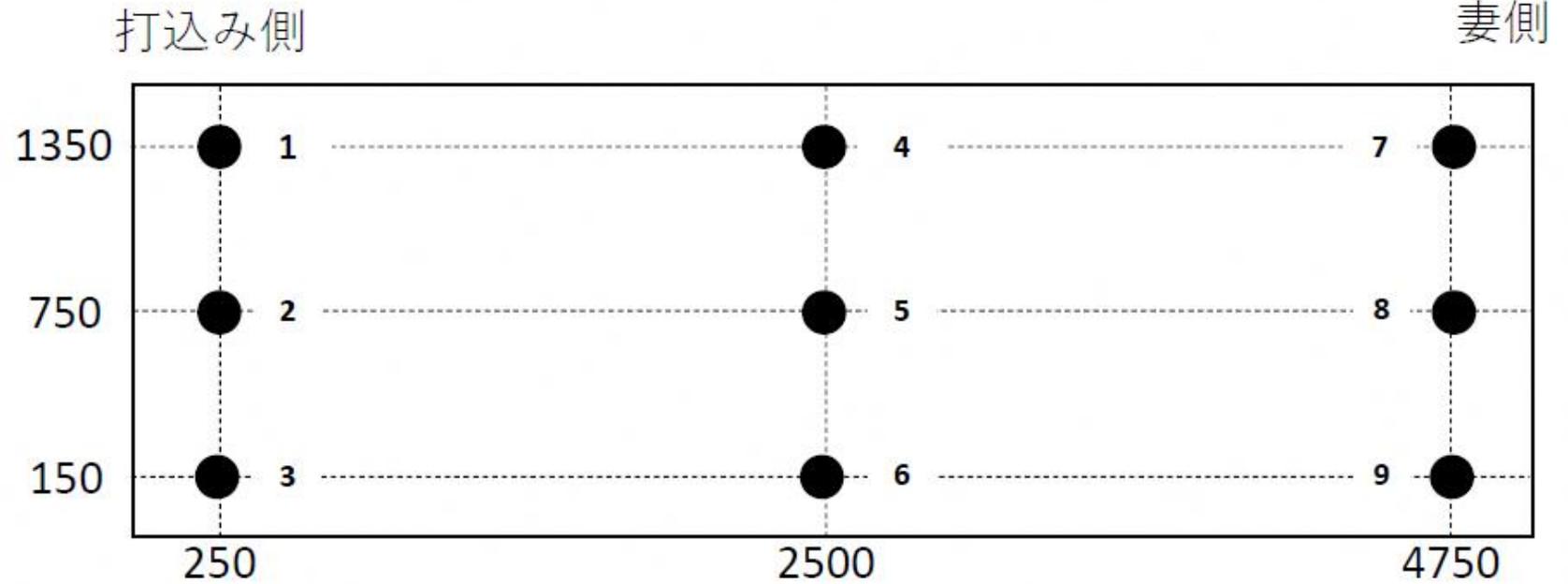
- 標準配合 < 現行配合 < 決定配合の順で品質が向上し、決定配合の平均値は「一般」評価 ⇒ 材料分離抵抗性が向上し、均質性が向上

### 3. 模擬型枠試験

[コア評価]

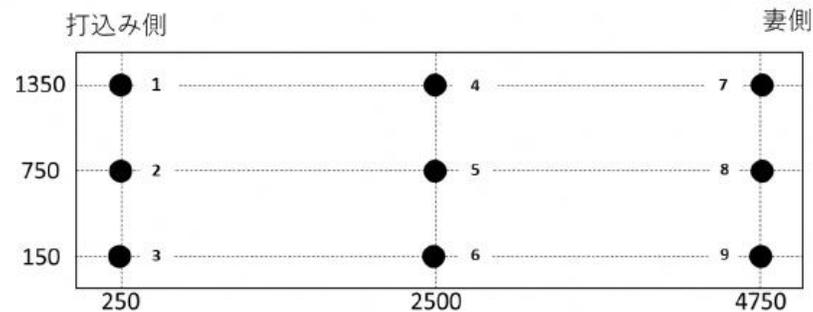
コアサイズ  
 $\phi 100 \times 300\text{mm}$

打込み側、中間、妻側  
上・中・下 9箇所  
コアを採取



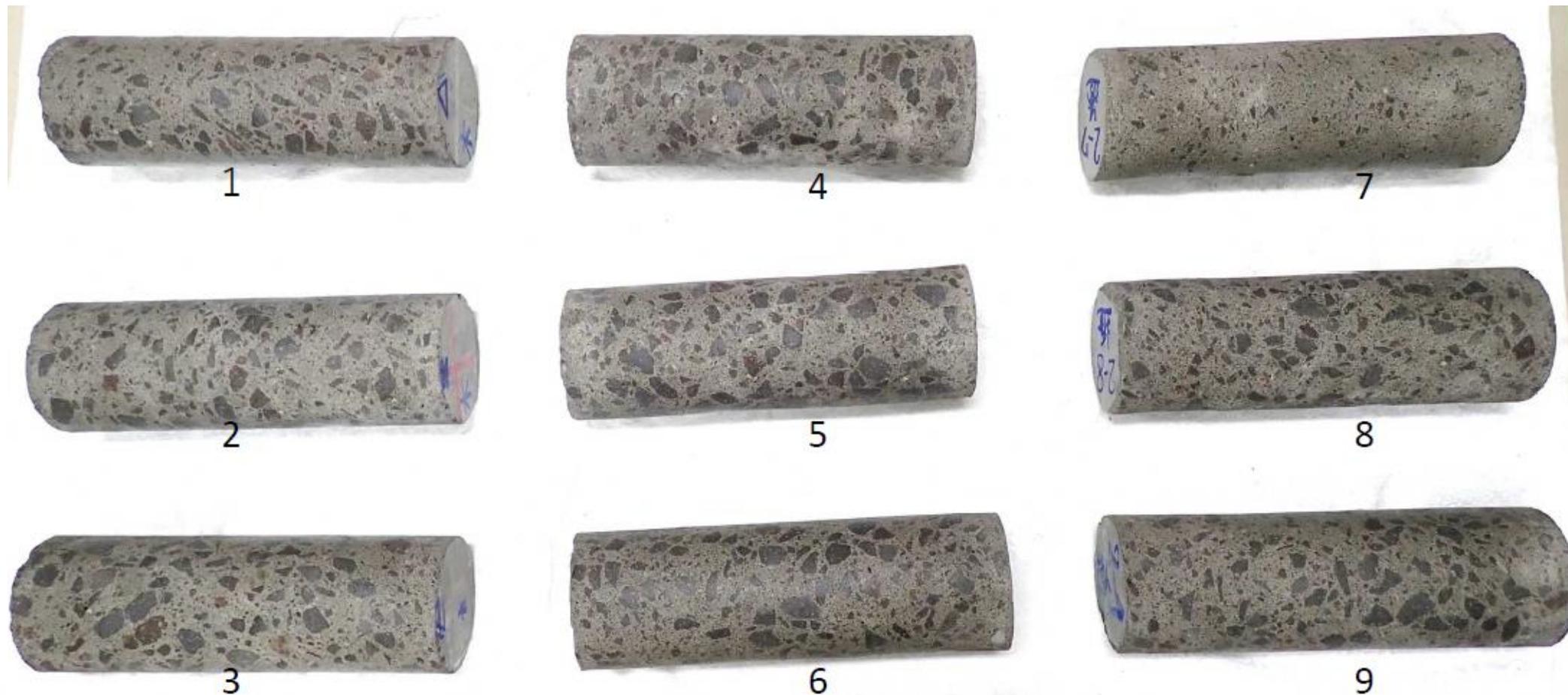
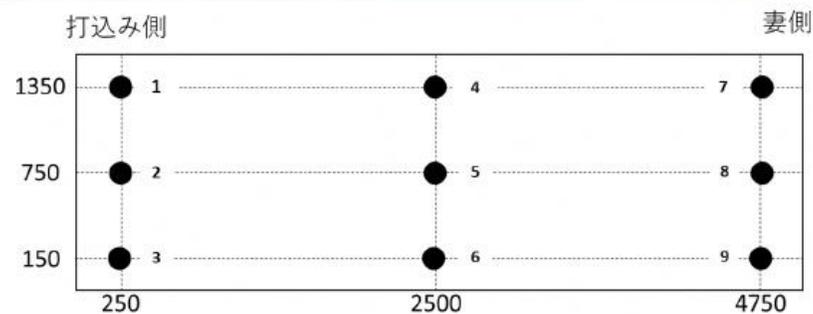
### 3. 模擬型枠試験

[模擬-1] 標準配合：24-15-40N



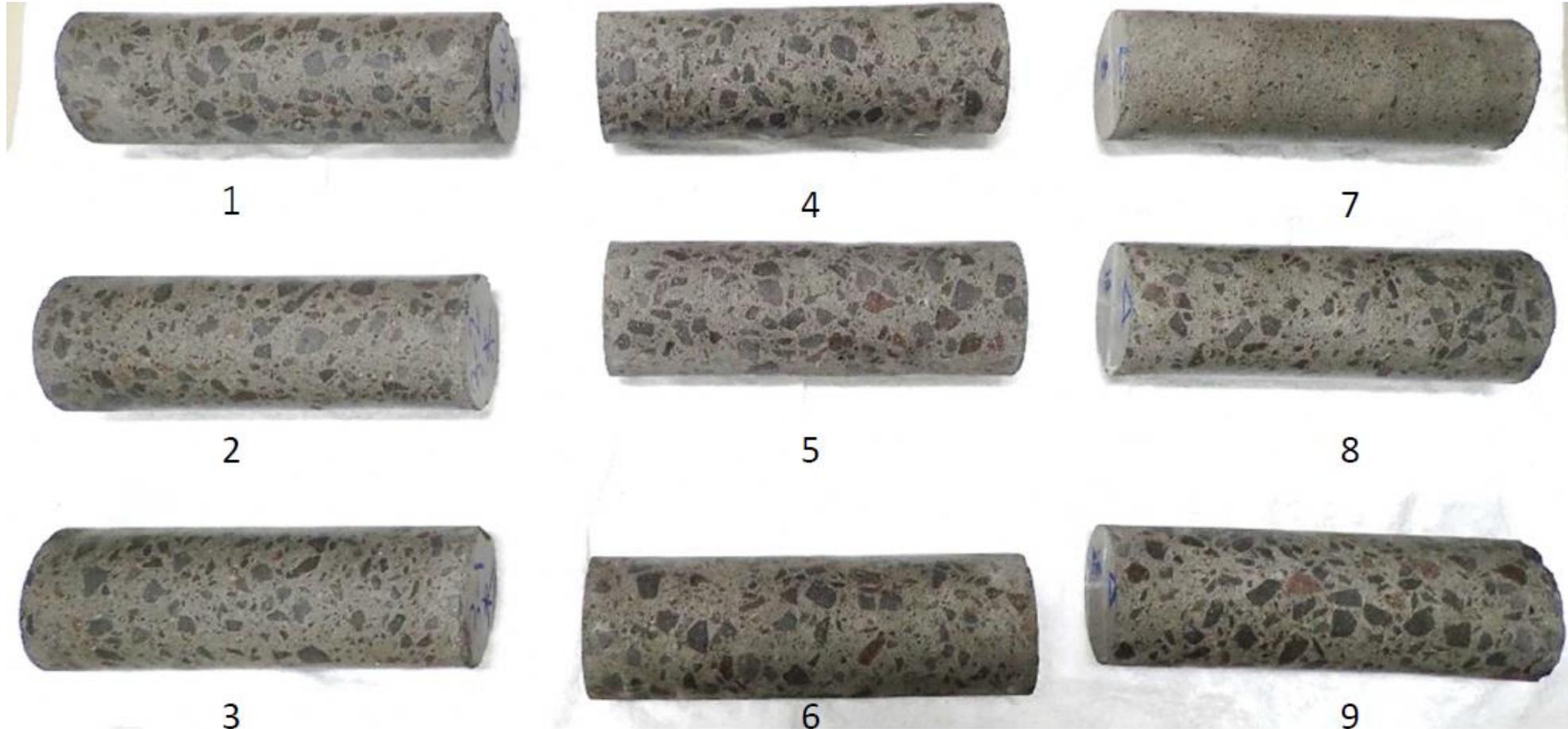
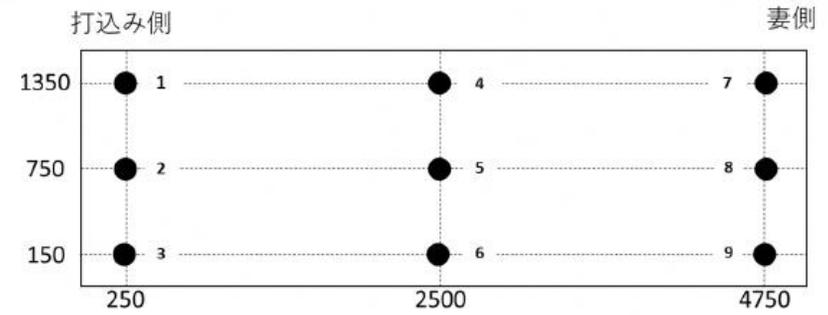
### 3. 模擬型枠試験

[模擬-2] 現行配合：27-18-20N



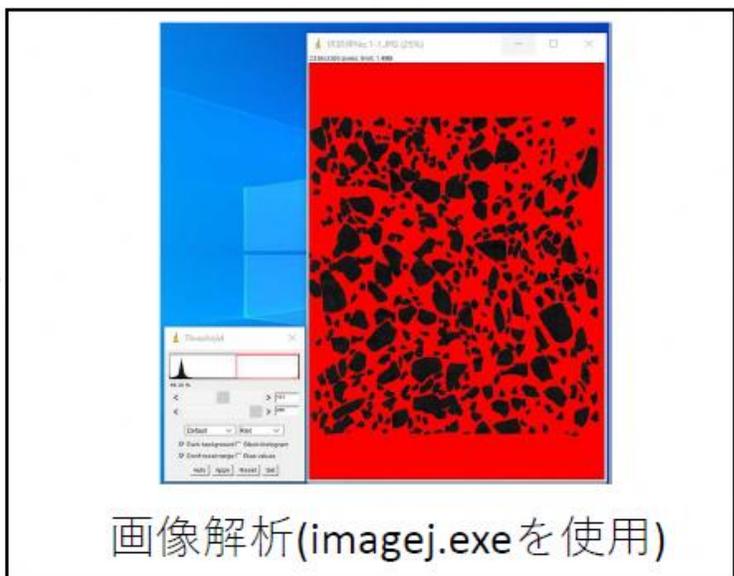
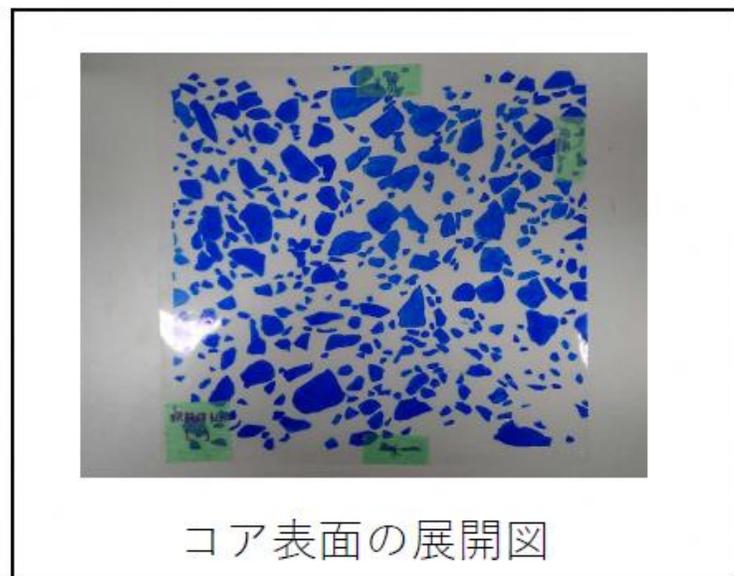
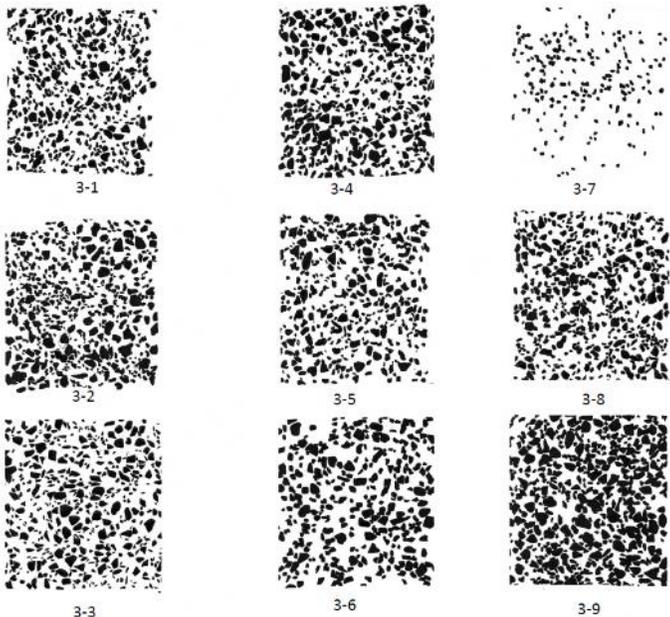
### 3. 模擬型枠試験

[模擬-3] 決定配合：27-18-20N + S5



### 3. 模擬型枠試験

[粗骨材量 (面積率)  
の評価方法]



### 3. 模擬型枠試験

粗骨材面積率の  
評価

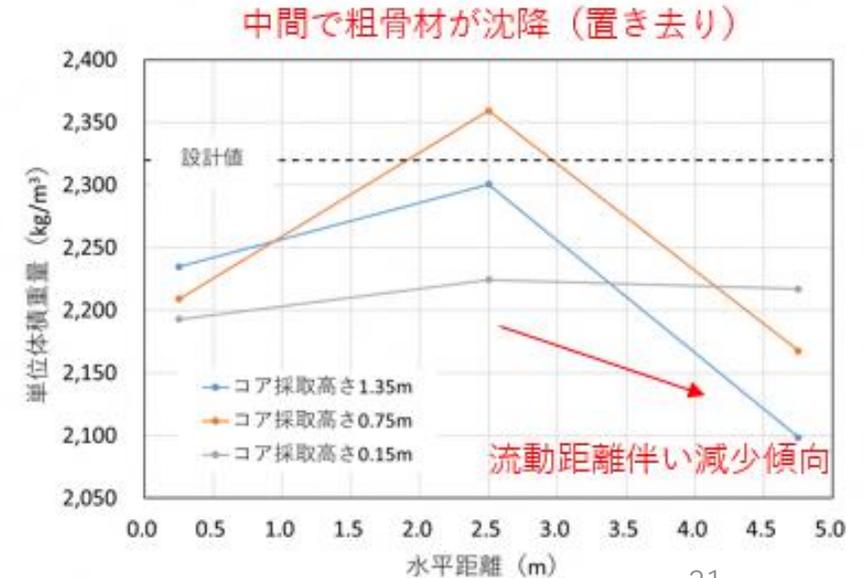
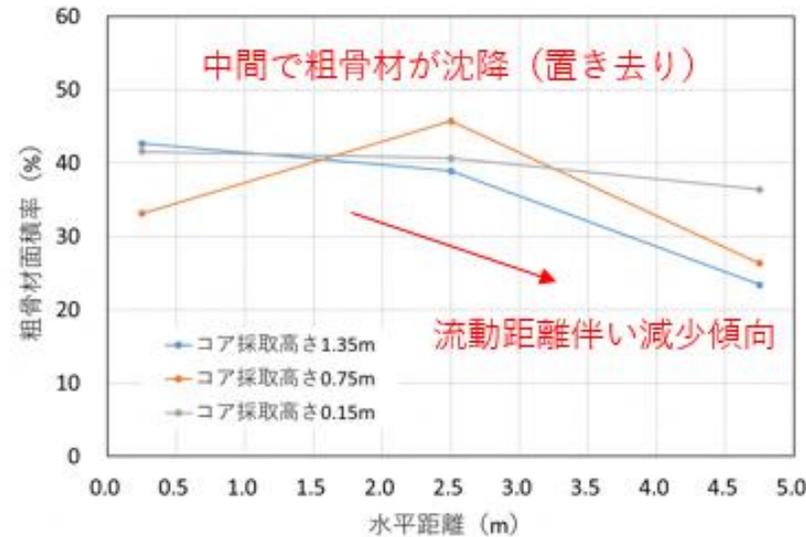
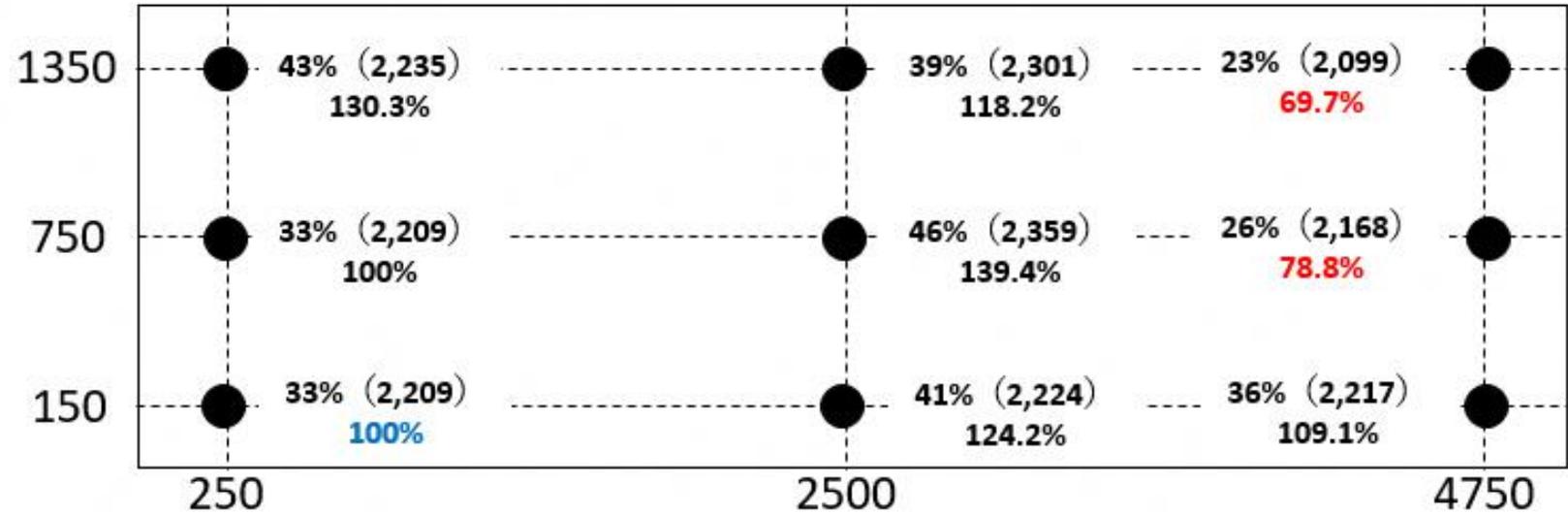
[模擬-1] 標準配合

※ ( ) は単位体積重量

※下段は打込み側下段の  
粗骨材量を100%とし  
た場合の比率

打込み側

妻側



### 3. 模擬型枠試験

粗骨材面積率の  
評価

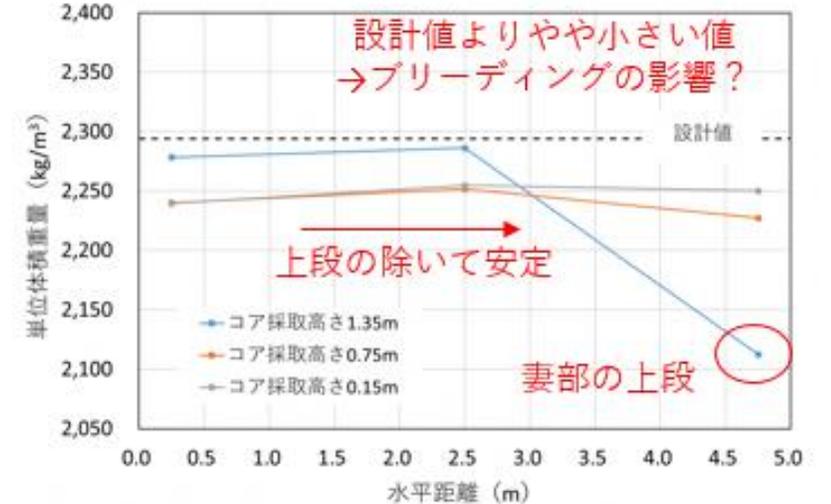
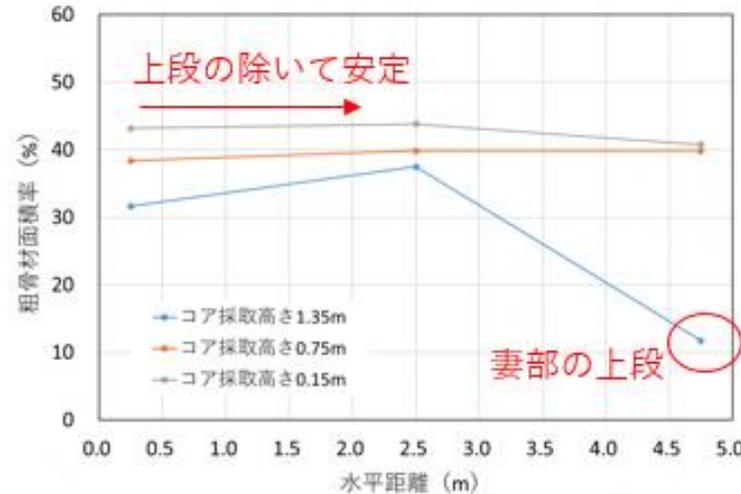
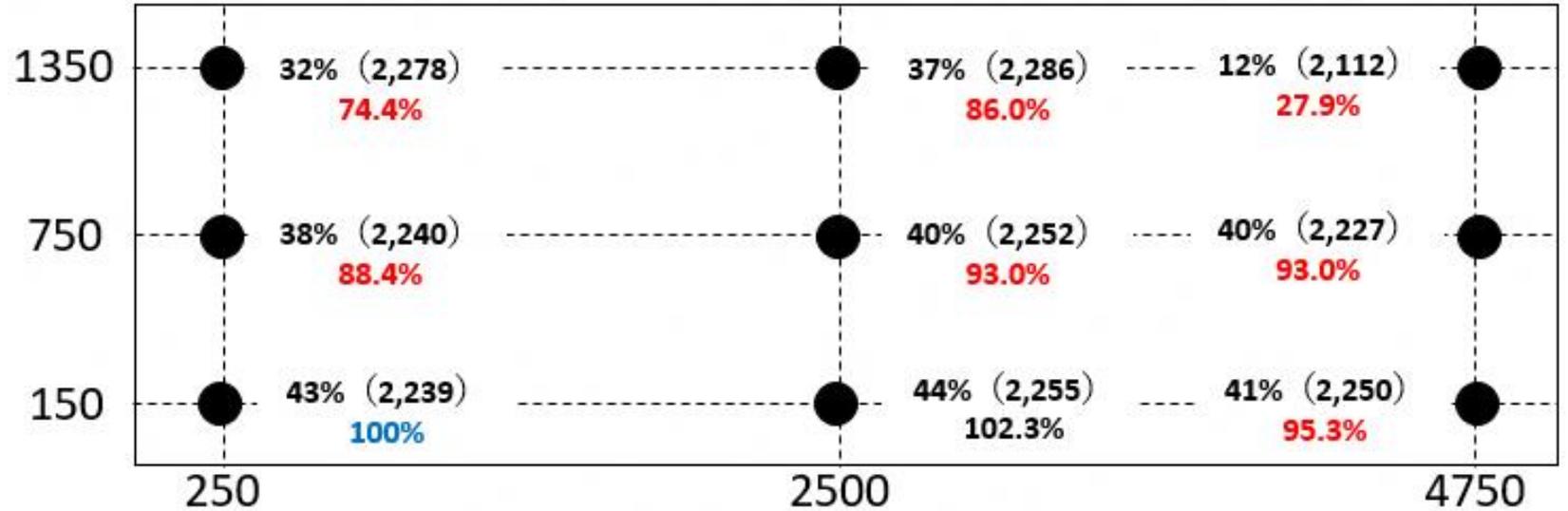
[模擬-2] 現行配合

※ ( ) は単位体積重量

※下段は打込み側下段の  
粗骨材量を100%とした  
場合の比率

打込み側

妻側



### 3. 模擬型枠試験

粗骨材面積率の

評価

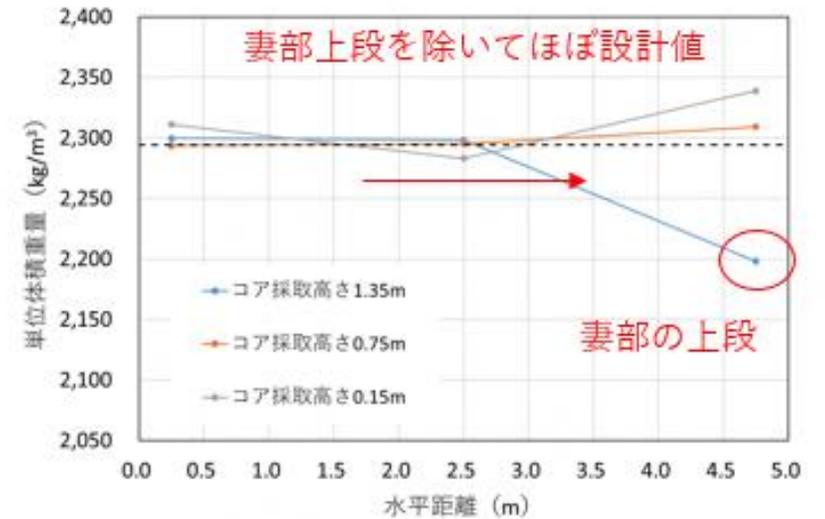
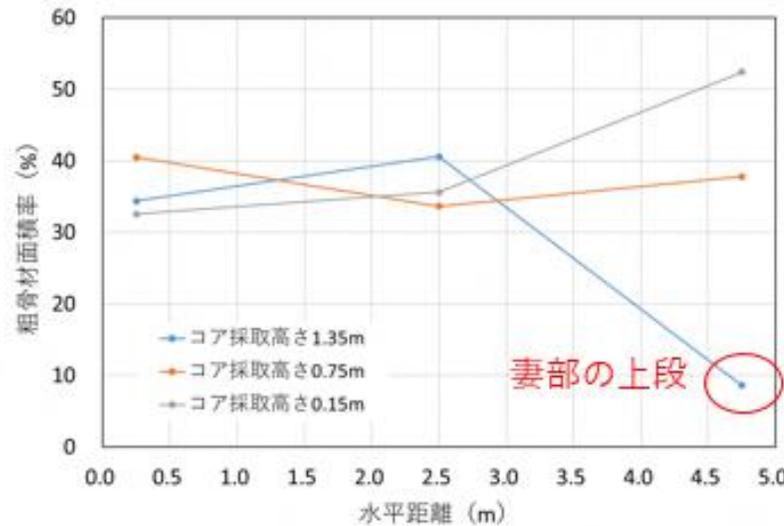
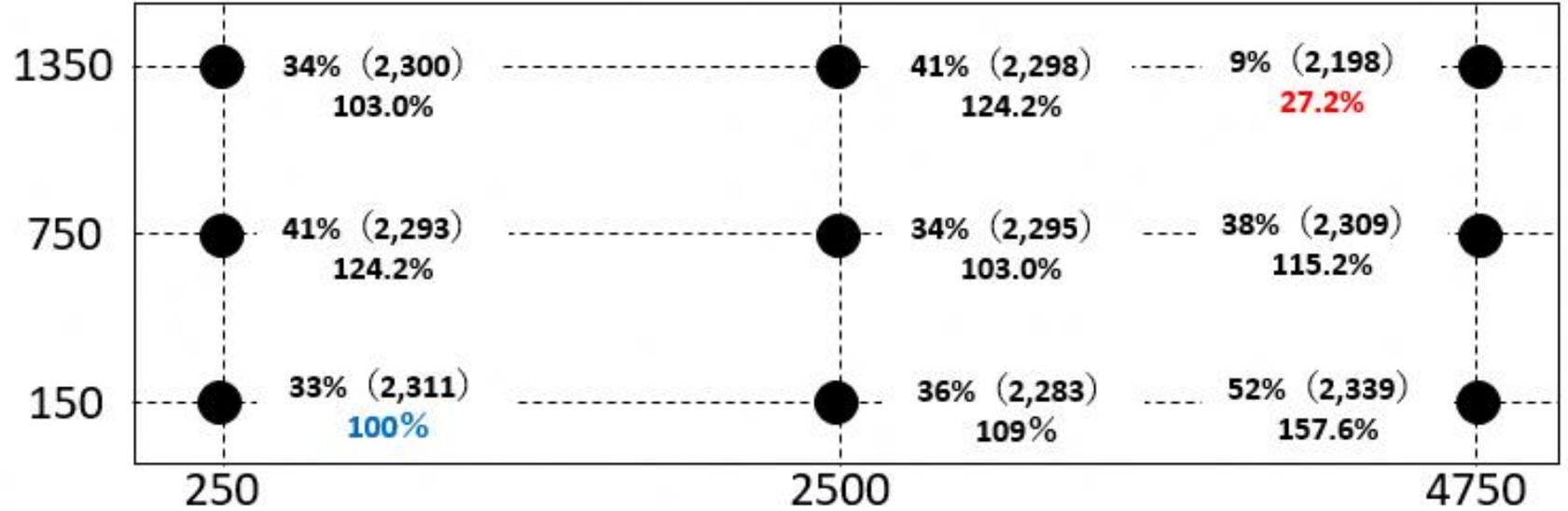
[模擬-3] 決定配合

※ ( ) は単位体積重量

※下段は打込み側下段の

粗骨材量を100%とした

場合の比率



### 3. 模擬型枠試験

[粗骨材面積率の評価のまとめ]

#### 模擬-1 (標準配合：24-15-40N)

- 面積率・単位体積重量は打ち込み側より中間部が高く、妻側は打ち込み側より小さい  
⇒コンクリートが流動する過程で、**粗骨材が沈降（置き去り）し、中間部が密となり、妻部が疎**になる。  
⇒**40mm骨材のため傾向が顕著**に表れている。

#### 模擬-2 (現行配合：27-18-20N)

- 面積率・単位体積重量は下段・中段はほぼ均一、妻部の上段だけ大きく減少する  
⇒妻部上段にモルタル分が集中するのは、締固め時間が長すぎたのが原因？  
⇒模擬-1 に対し、**材料分離抵抗性が向上して粗骨材を妻部まで運んでいる。**

#### 模擬-3 (決定配合 (火山ガラス微粉末配合)：27-18-20N+S5)

- 面積率・単位体積重量は下段で、打ち込み側 < 中間 < 妻部
- 面積率・単位体積重量は上段だけ大きく減少する  
⇒妻部上段にモルタル分が集中するのは、締固め時間が長すぎたのが原因？  
⇒模擬-2 よりもさらに**材料分離抵抗性が向上している。妻部まで確実に粗骨材を運んでいる。**

## 4. 試験結果のまとめ（火山ガラス微粉末添加配合の実打設可否の判断）

覆工コンクリート特有の流動距離が長い流し込み打設に適応できるか？

⇒ **材料分離抵抗性の向上**により、

- ① 覆工コンクリート全体の**均質性の向上**
- ② **妻部の密実性の向上**
- ③ **天端部の充填性の向上**

⇒ **美観（白色系）の向上**により

- ① **表層品質（色むらの減少）の向上**
- ② **トンネル坑内の採光性の向上**

**実打設可能**

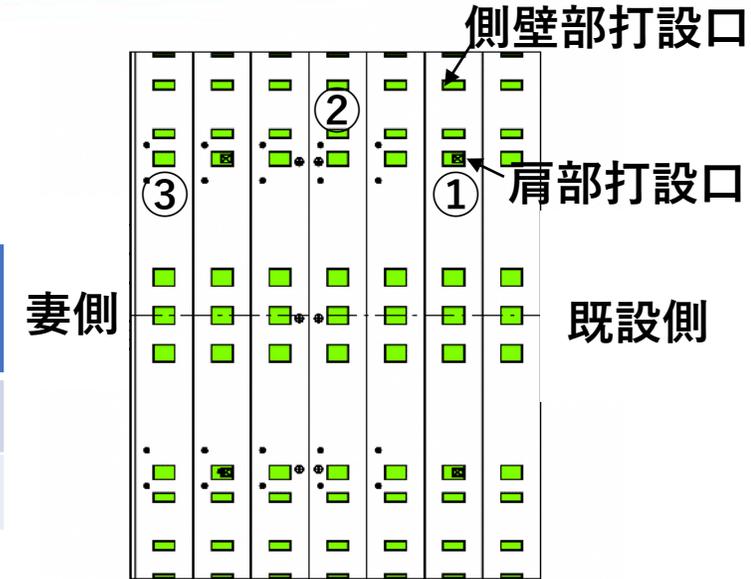
ただし、以下の点に留意した打込みを行う

- ・ **スランプロスが大きく、スランプの確保が難しい傾向がある**ため、打込み開始から5台まで（それ以降は5台毎）で実施し、スランプが規格値内に収まっていることを確認
- ・ 打込み最終箇所となる**妻部は、粗骨材量が減少する傾向がある**ため、打込み時に確実にノロ・ブリーディング水、モルタル分を確実に排出する。

## 5. 実覆工への打込み

定量採取による粗骨材量の確認試験（参考）

配合	①肩部打設口付近	②側壁部 (流動距離5m)	③肩部 (流動距離10m)
現行配合27-18-20N	78.7%	72.6%	102.6%
決定配合27-18-20N+5S	83.8%	90.6%	93.9%



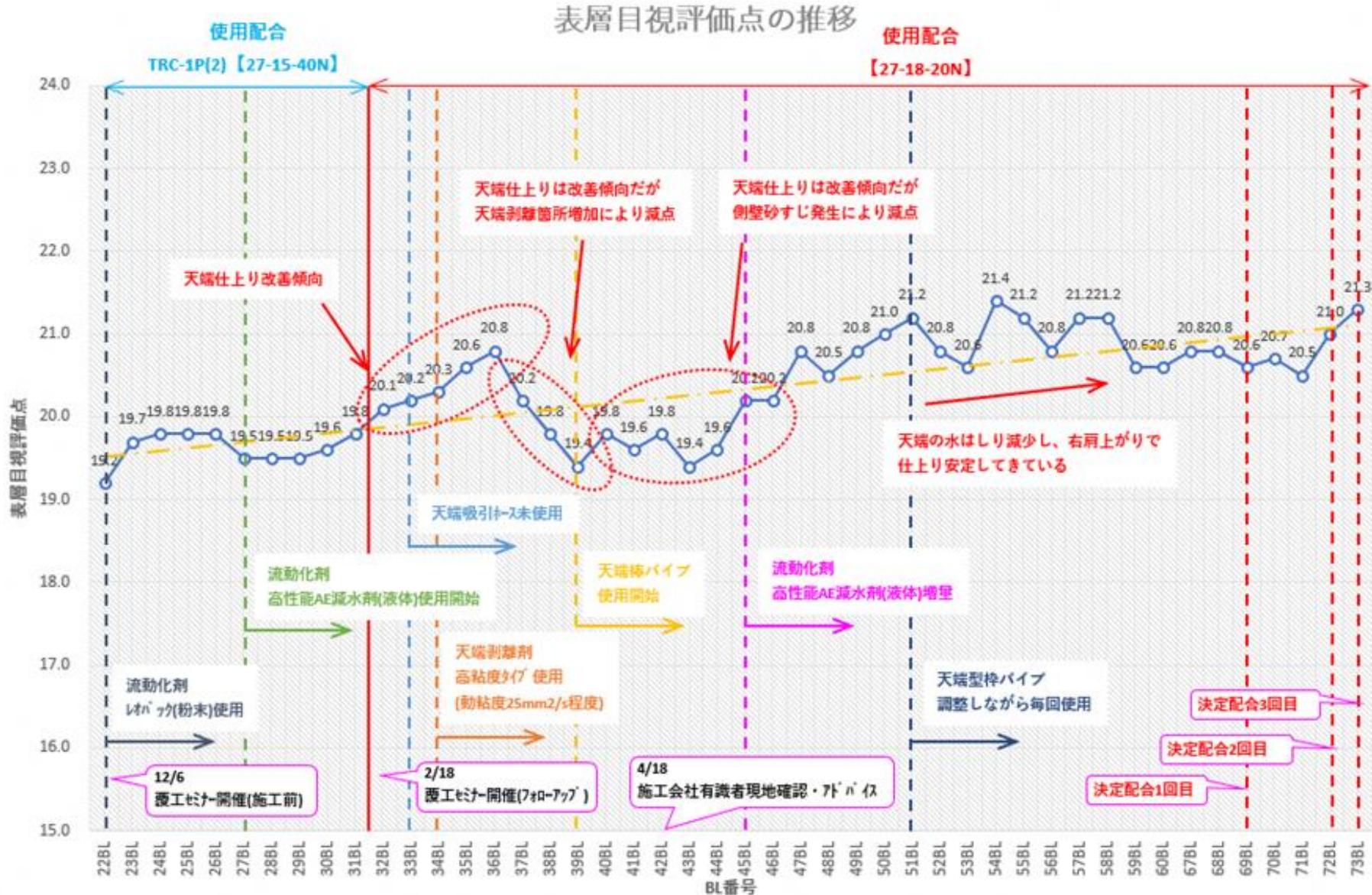
⇒ 模擬型枠試験での定量採取・コアの粗骨材面積率で見られた粗骨材量が減少する傾向は見られない。

⇒ **スランプ18cm**を確保すれば**粗骨材は妻部まで運搬**できる。

**覆工コンクリート全体の均質性が向上**



# 5. 実覆工への打込み



## 5. 実覆工への打込み

[表層品質試験]

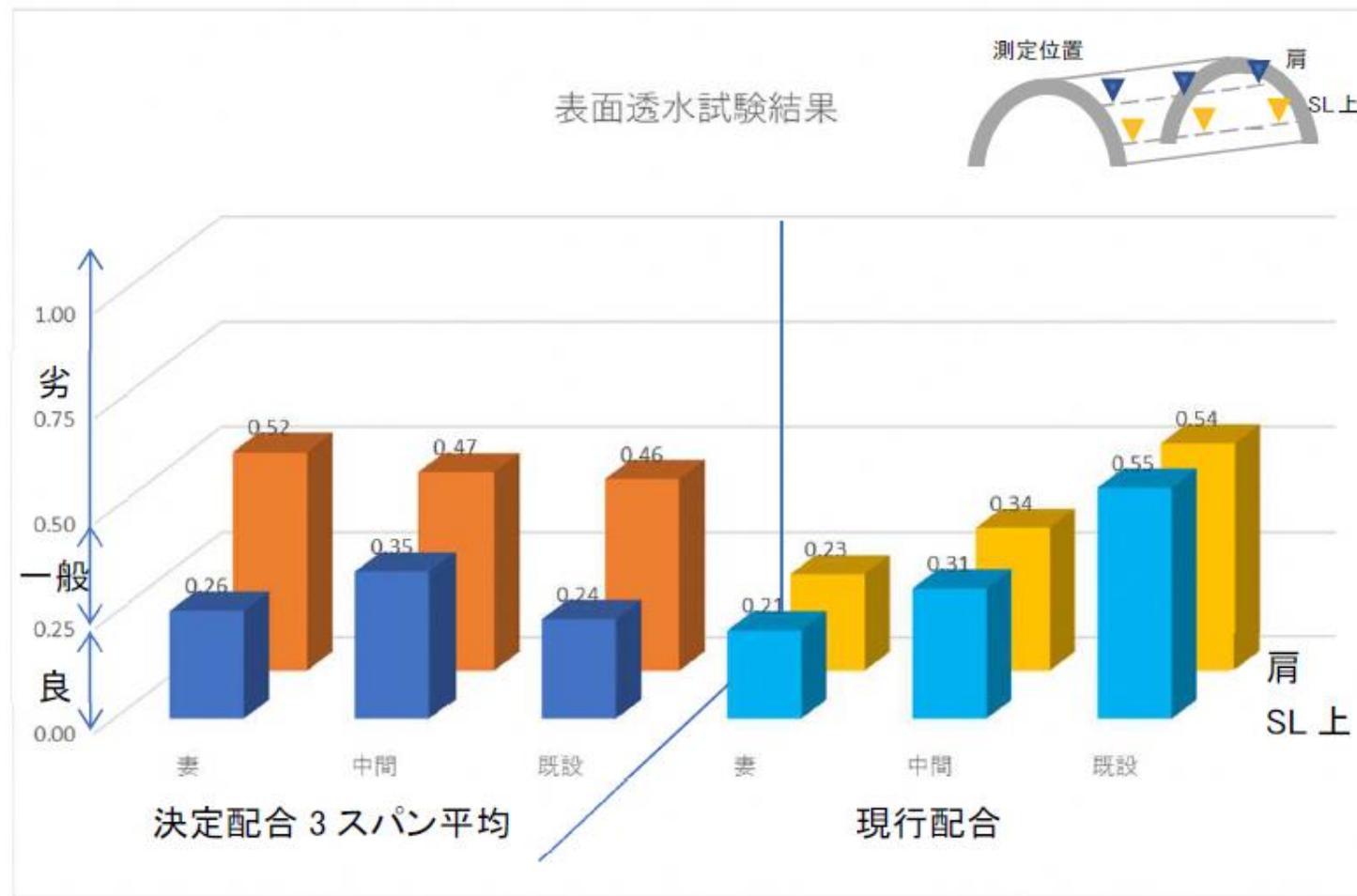
表面吸水試験 (SWAT)

現行配合：一般

既設側 > 中間 > 妻側

決定配合：一般

SL < 肩



覆工コンクリート全体の均質性が向上

## 5. 実覆工への打込み

[表層品質試験]

表層透気試験 (トレント)

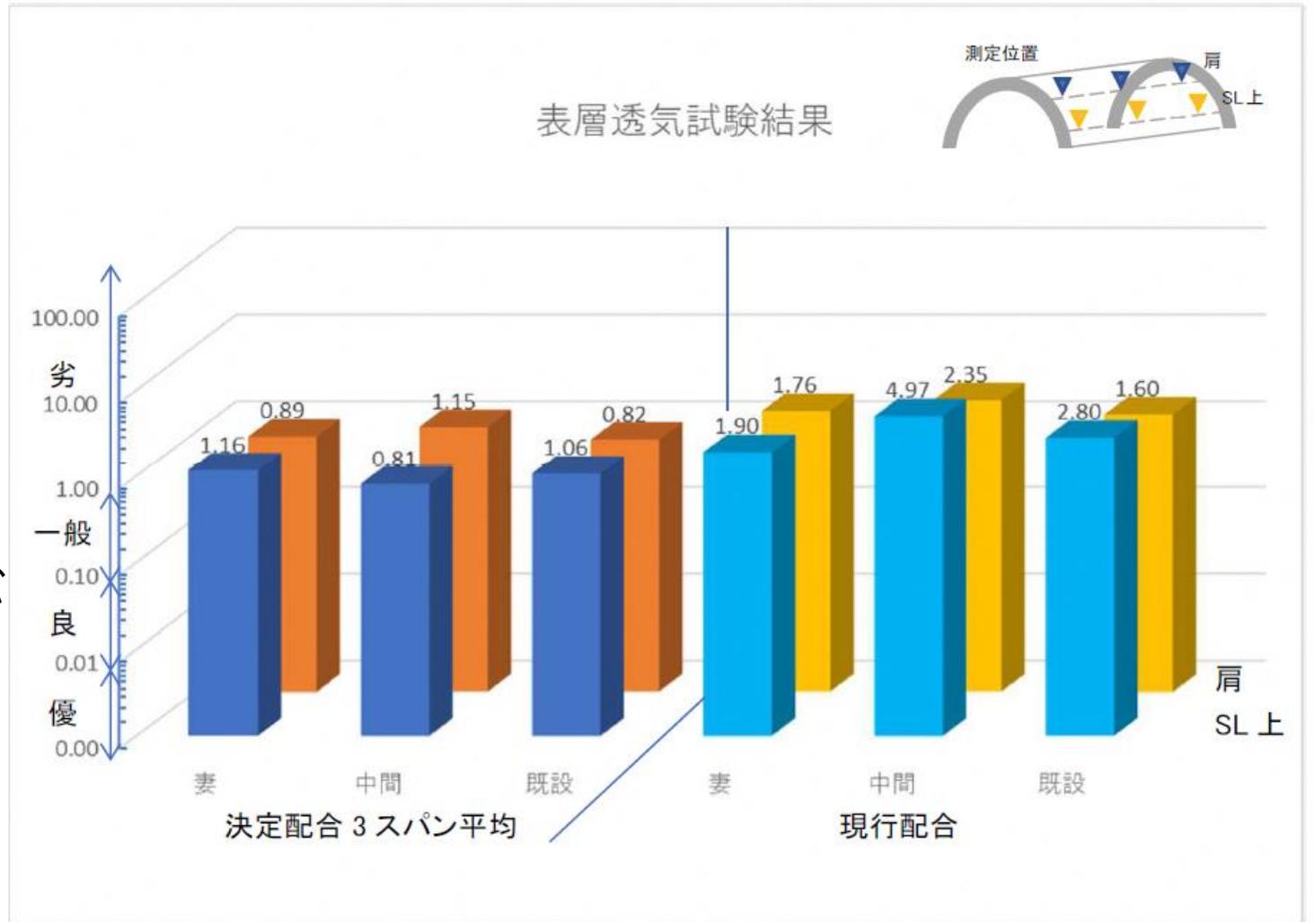
現行配合：劣

決定配合：一般

両配合でばらつきが  
少ない



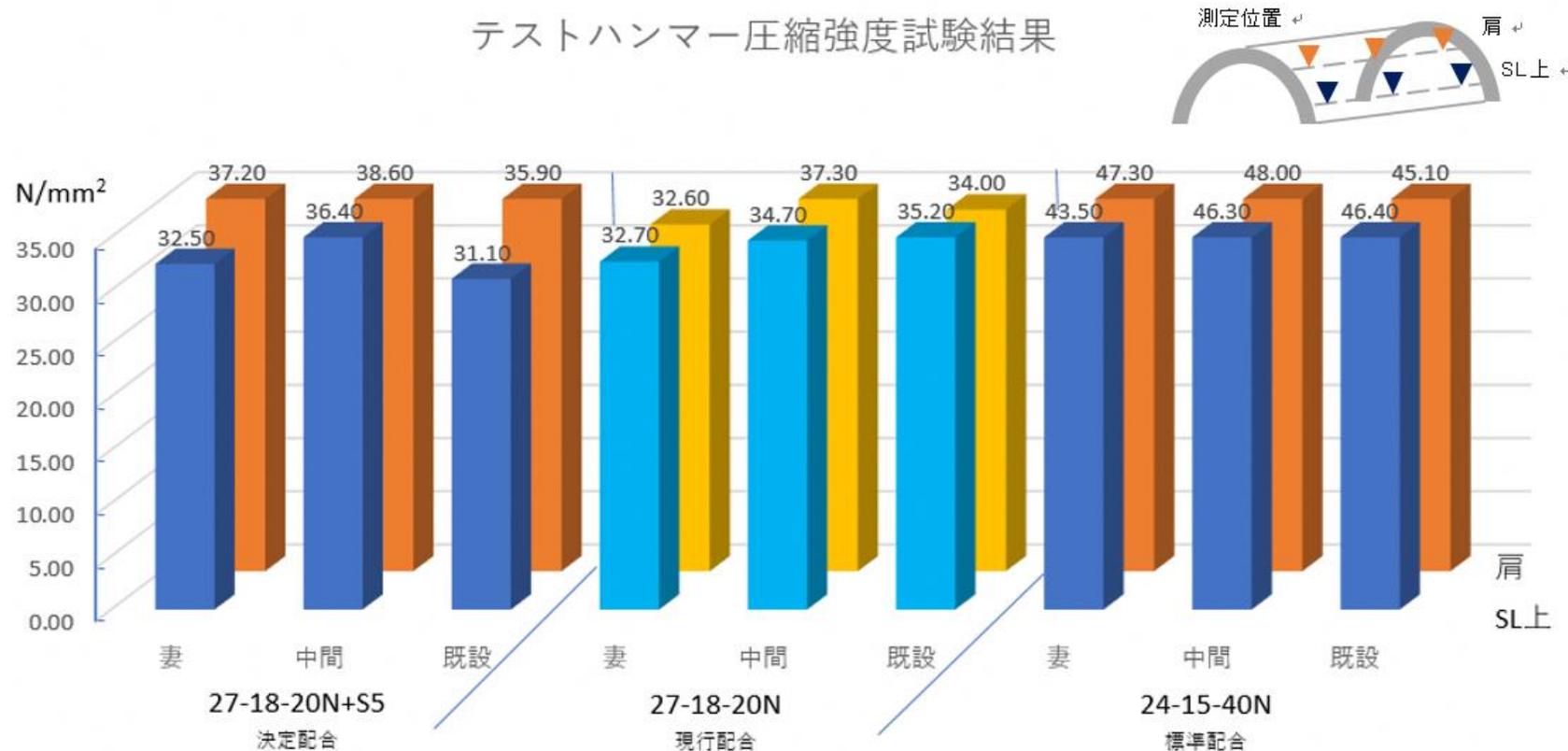
覆工コンクリート全体の均質性が向上



## 5. 実覆工への打込み

[テストハンマー圧縮強度試験]

テストハンマー圧縮強度試験結果



全測定箇所呼び強度以上、圧縮強度にばらつきは見られない

**覆工コンクリート全体の均質性が向上**

## 6. まとめ

評価	標準配合：24-15-40N	現行配合：27-18-20N	決定配合：27-18-20N+S5
流動性・均質性 (粗骨材定量採取・ コア粗骨材表面率・ テストハンマー)	模擬型枠試験（流動距離 5m）で、コンクリートが 流動する過程で粗骨材が 沈降し、妻部の粗骨材量 と単位体積重量が減少 △	模擬型枠試験及び実打 込みで、妻部まで确实 に粗骨材が流動 実覆工の全面で圧縮強 度にばらつき無し ○	模擬型枠試験及び実打込みで、 妻部まで确实に粗骨材が流動 実覆工の全面で圧縮強度にば らつき無し ○
材料分離抵抗性 (ブリーディング量)	○ ( $0.09 < 0.35\text{cm}^3/\text{cm}^2$ ※)	○ ( $0.11 < 0.35\text{cm}^3/\text{cm}^2$ )	◎ ( $0.00 < 0.35\text{cm}^3/\text{cm}^2$ )
表層品質 (表面透水試験・ 表層透気試験)	模擬供試体：劣～一般 実覆工：－ (27-15-40N) △	模擬供試体：劣～一般 実覆工：劣～一般 ○	模擬供試体：一般 実覆工：一般 ◎
美観（目視評価）	△	○	○（模擬供試体で白系）
経済性	19,150円/m <sup>3</sup>	19,190円/m <sup>3</sup>	ベースコン　　：22,250 火山ガラス微粉末：3,000 投入手間単価　　：2,000 計　　：27,250円/m <sup>3</sup>

※山口県ガイドライン

## 6. 覆工の使用配合・打込み方法の提案

### 1 使用配合

[側壁から肩部までの範囲]

使用するコンクリートのスランプは、粗骨材を妻部まで確実に流動できる**18cm以上**とすることが望ましい。

[天端部の範囲]

締固めにより、粗骨材が沈降する傾向があるため、天端部の吹上げ打設に使用するコンクリートは、締固めが不要でブリーディング量が少ない**高流動コンクリート**を使用することが望ましい。

### 2 打込み方法

[側壁から肩部までの範囲]

打設口は、**セントル延長に対して2ヵ所以上設置**してコンクリートの流動距離をできるだけ短縮し、材料分離の発生を防止する。

天端部への切り替え前に締固めにより発生した**ブリーディング及びノロを完全に除去**する。

[天端部の範囲]

天端の空洞の発生を防止するため、**背面平滑型ライニング工法 (FILM)** の採用、もしくは**吹付コンクリート面の平滑化**を行い、地山側の覆工面を平滑にする。

セントル天端に**圧力センサを3ヵ所設置**し、コンクリートの充填を確認する。また、天端に**吸引チューブ**を取り付け、**真空ポンプ**でブリーディングを除去する。

## 6. 覆工の使用配合・打込み方法の提案

