



東京理科大学

国土交通省関東地方整備局
技術(シーズ)マッチング

混和材大量使用 締固めを必要とする高流動コンクリートの開発

研究代表者

東京理科大学
創域理工学部 社会基盤工学科

教授 加藤 佳孝

共同研究者

東急建設(株)
技術研究所 土木材料・地盤グループ

主席研究員 鈴木 将充

T O K Y U C O N S T R U C T I O N



研究開発の背景・目的

低炭素化

混和材大量使用コンクリート



- ⇒ 初期強度が小さいためW/Cを小さく
- ⇒ 粉体量が増加し分離し難くなる
- ⇒ 現状ではスランプコンとして成立

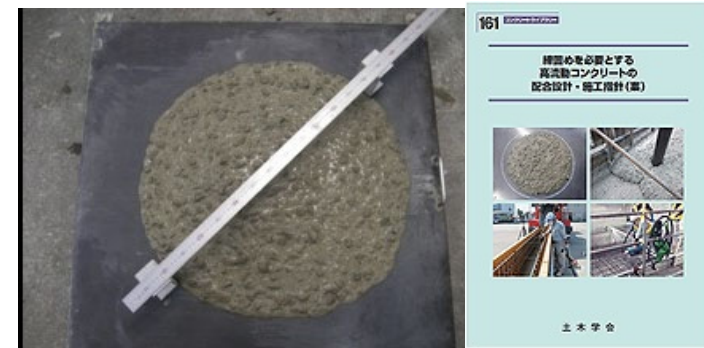


混和材を大量に使用してCO₂を削減
設計基準強度を満足するためにはW/Cを小さく
→ フレッシュコンクリートの粘性増加

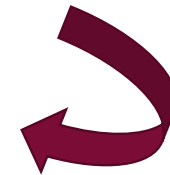
締固めを必要とする高流動コンクリート向き: 施工性向上

コンクリート工の合理化

締固めを必要とする高流動コンクリート



- ⇒ 粉体量が必要なため、普通 N の場合、設計基準強度よりも大きな呼び強度(過剰設計)のコンクリートの選択が必要



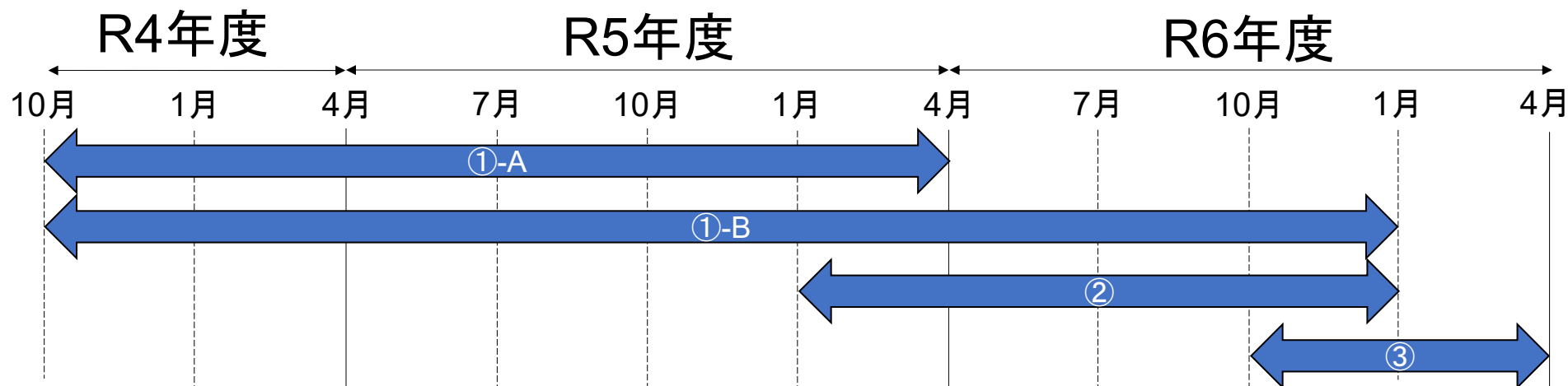
本研究の全体像

目標

呼び強度24N, 27N, スランプフロー45cm対象に, 混和材を大量使用することでCO₂排出量を削減した締固めを必要とする高流動コンクリートを開発する

検討課題

- ①配合設計方法の検討(A:配合要因, B:鋼材腐食抑制方法の確立)
- ②実構造物を模擬した実験による施工性および硬化体品質変動の検証
- ③マニュアルの整備



Contents

1. 配合設計方法の検討

A: 試し練りによる配合要因の検討および基準配合の決定

B: 力学的特性, 寸法安定性, 物質透過抵抗性の把握

2. 実構造物を模擬した実験による施工性および硬化体品質変動の検証

A: 壁部材での施工性の検証および硬化体品質変動の検証

B: 根固めブロックでの施工性の検証

3. 構築コスト, CO₂コストの試算



配合設計方法の検討

1

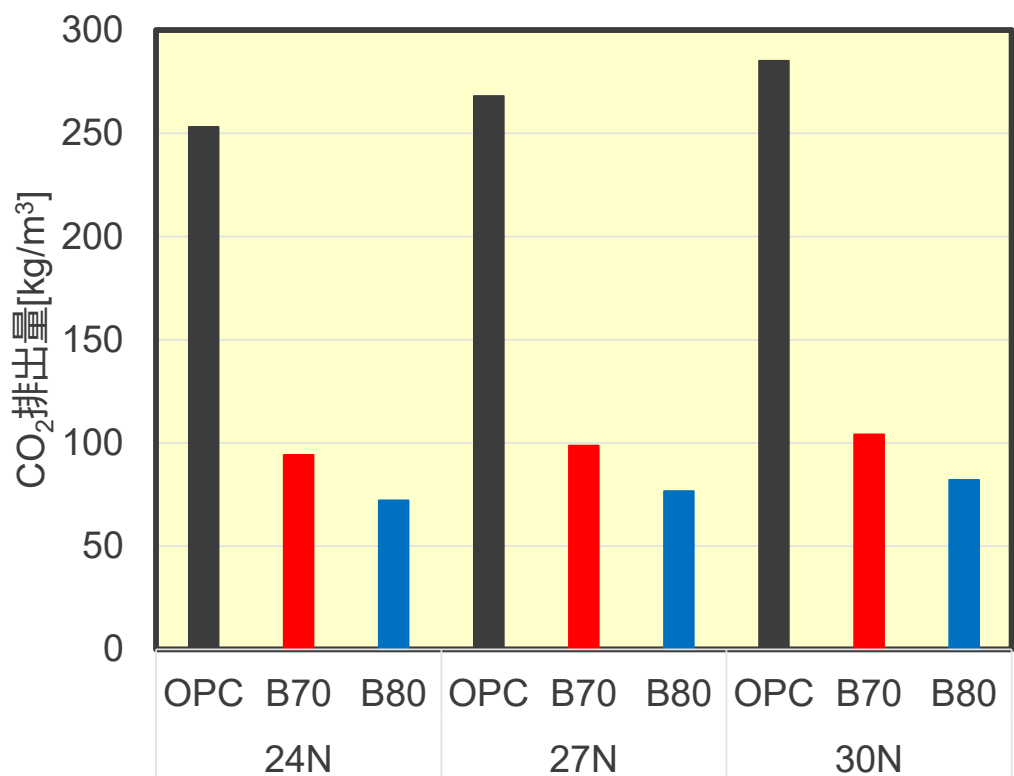
1-A 配合要因の検討および基準配合の決定

配合名	W/B [%]	s/a [%]	単位量 [kg/m ³]						化学混和剤 [(C+BS)×%]		実測値			
			W	C	BS	S1	S2	G	AE	SP	実測SF [cm]	実測Air [%]	Vpass [mm/s]	δ [%] (沈下量試験)
OPC-24N	60	53.4	185	308	0	678	277	837	0.008	0.8	45.0	4.1	20	73
OPC-27N	55	53	180	327	0	676	276	837	0.008	0.8	46.5	4.8	31	67
OPC-30N	51	52	178	349	0	589	329	854	0.008	0.8	44.5	5.5	27	70
B70-24N	53	51	175	99	231	581	325	876	0.001	0.7	49.0	5.5	36	71
B70-27N	50	50	174	104	244	576	322	869	0.002	0.7	49.0	4.8	18	71
B70-30N	46	48	170	111	259	540	302	918	0.002	0.7	45.5	4.0	27	86
B80-24N	50	50	174	70	278	564	315	886	0.004	0.7	46.5	3.5	19	82
B80-27N	46	48	172	75	299	536	300	912	0.002	0.7	46.5	3.5	16	63
B80-30N	42	48	170	81	324	529	296	900	0.002	0.7	49.0	5.3	21	88

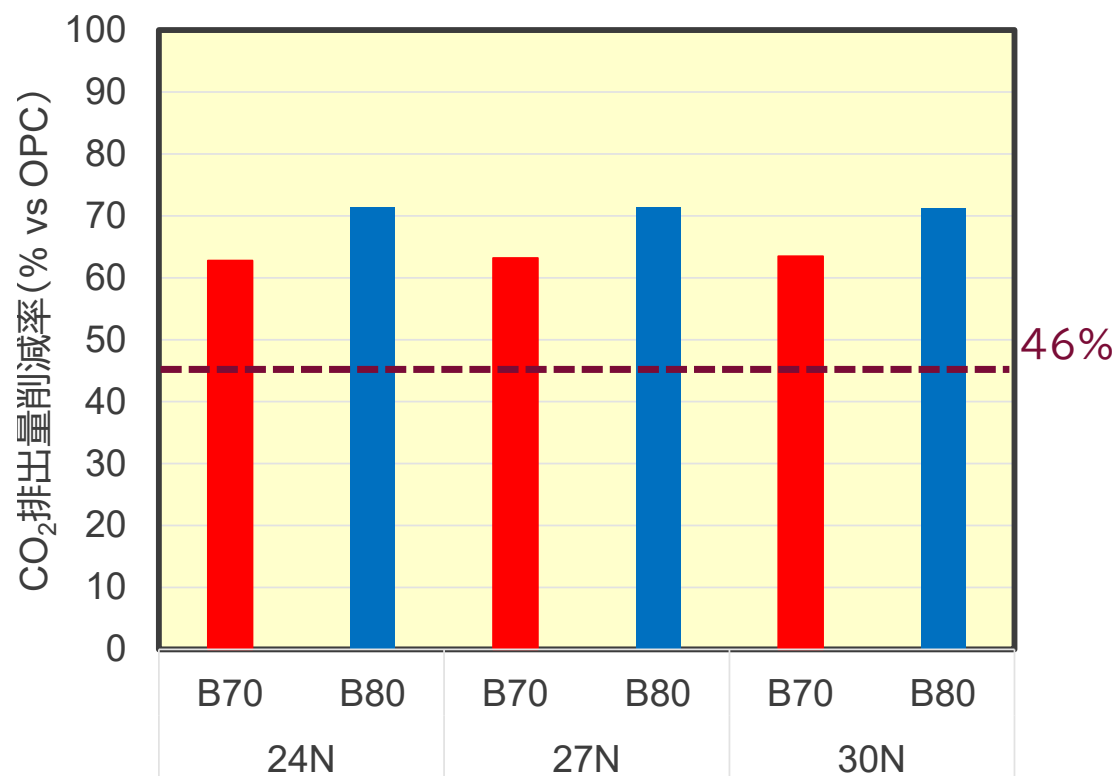
OPCと比較して、**B70**、**B80**は同一呼び強度で単位水量を5kg/m³低減

1-A 配合要因の検討および基準配合の決定

CO₂排出量

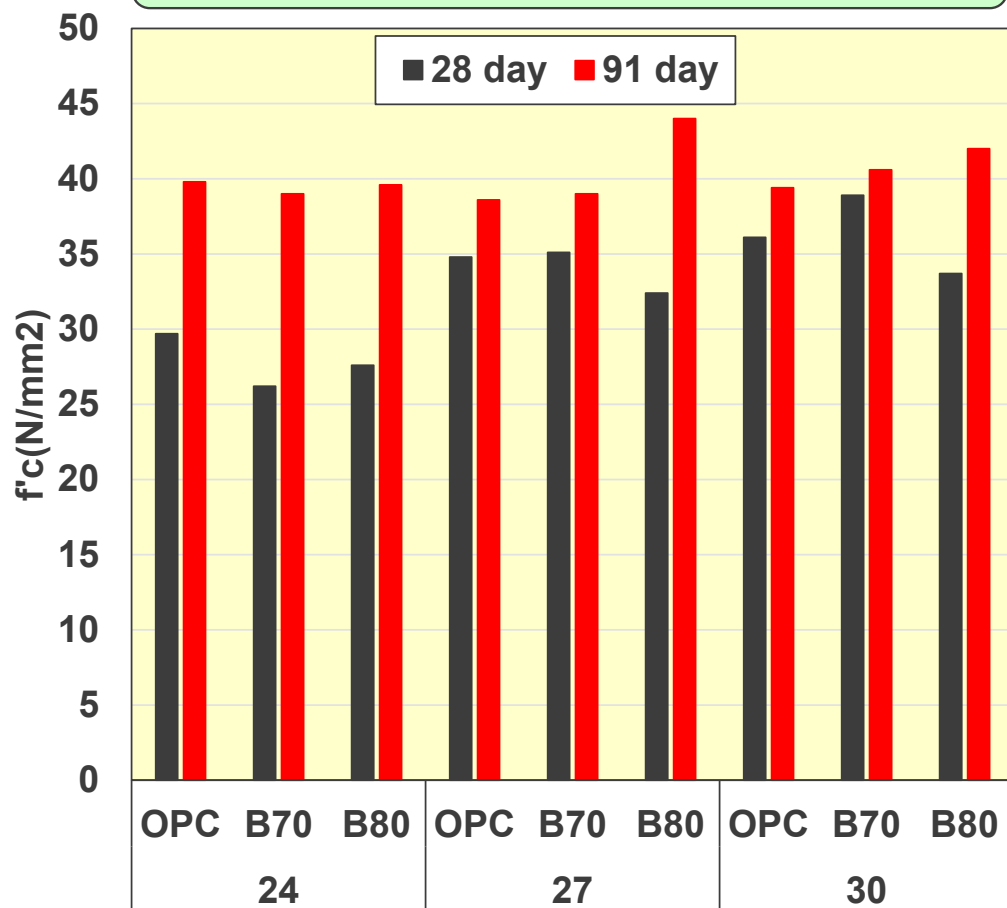


OPCを基準とした CO₂排出量削減率

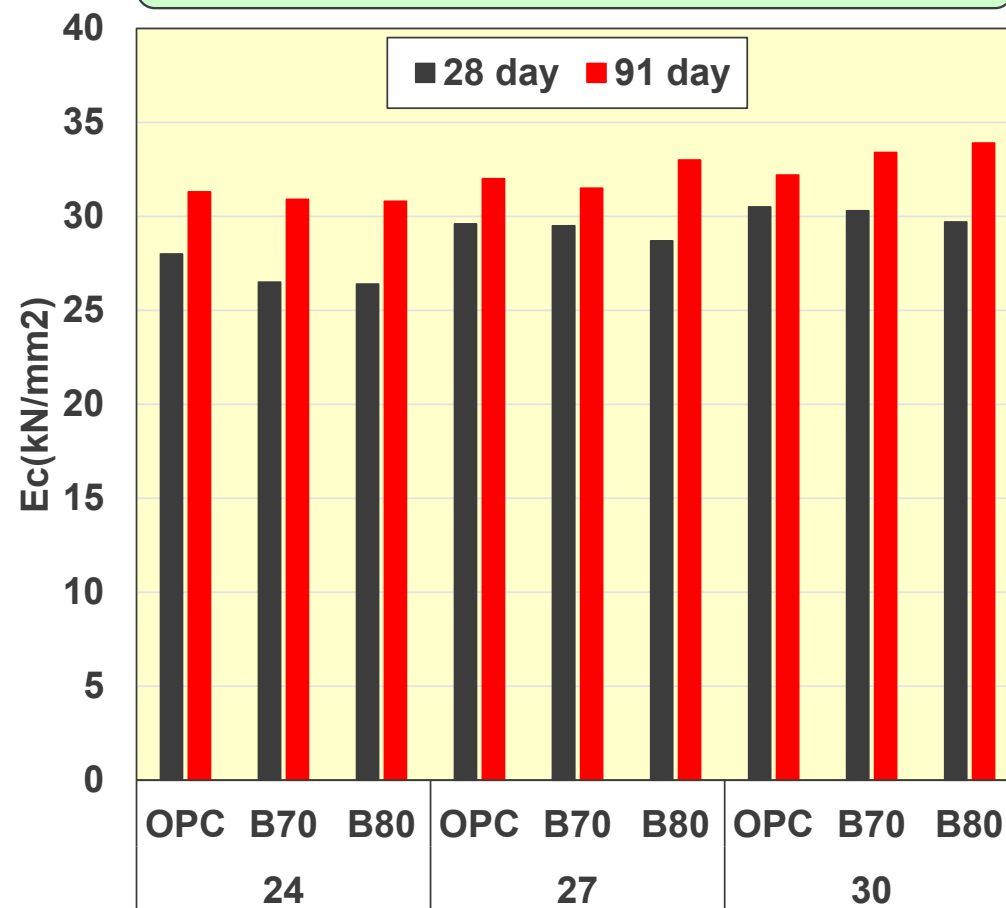


1-B 硬化特性

圧縮強度

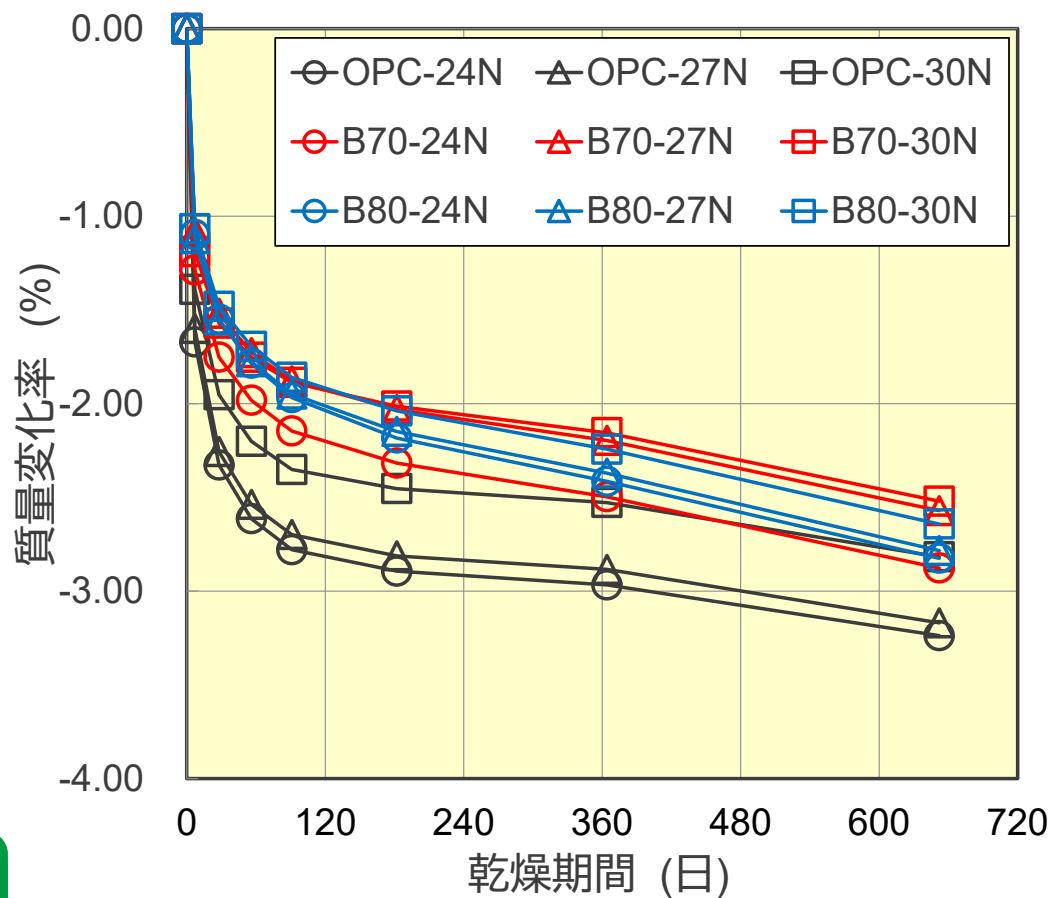


静弾性係数

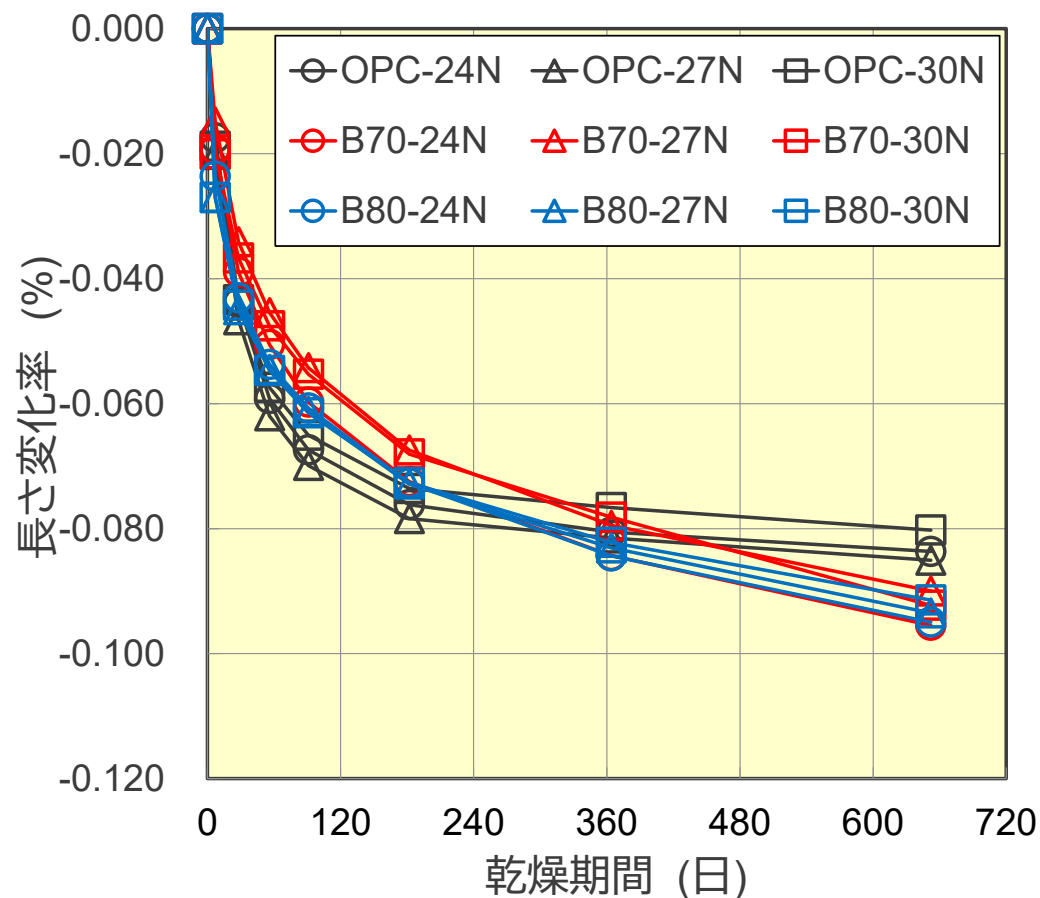


1-B 硬化特性

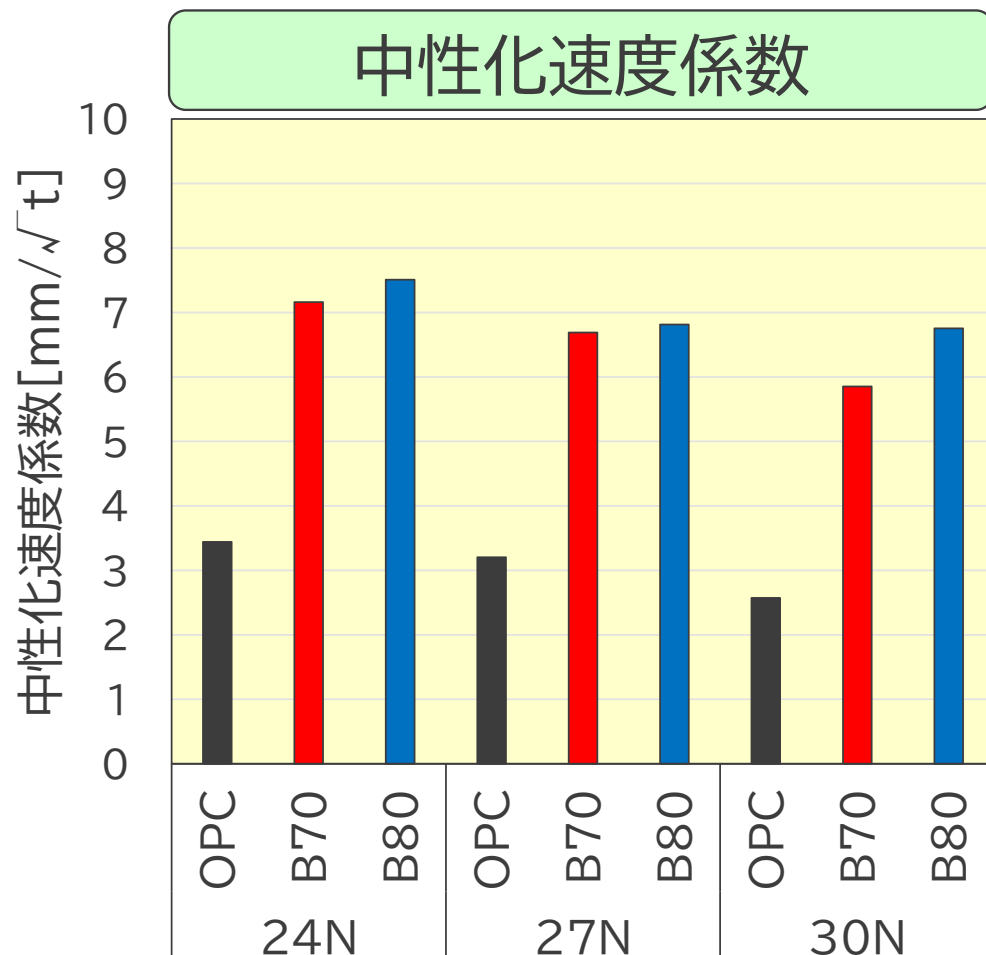
質量変化率



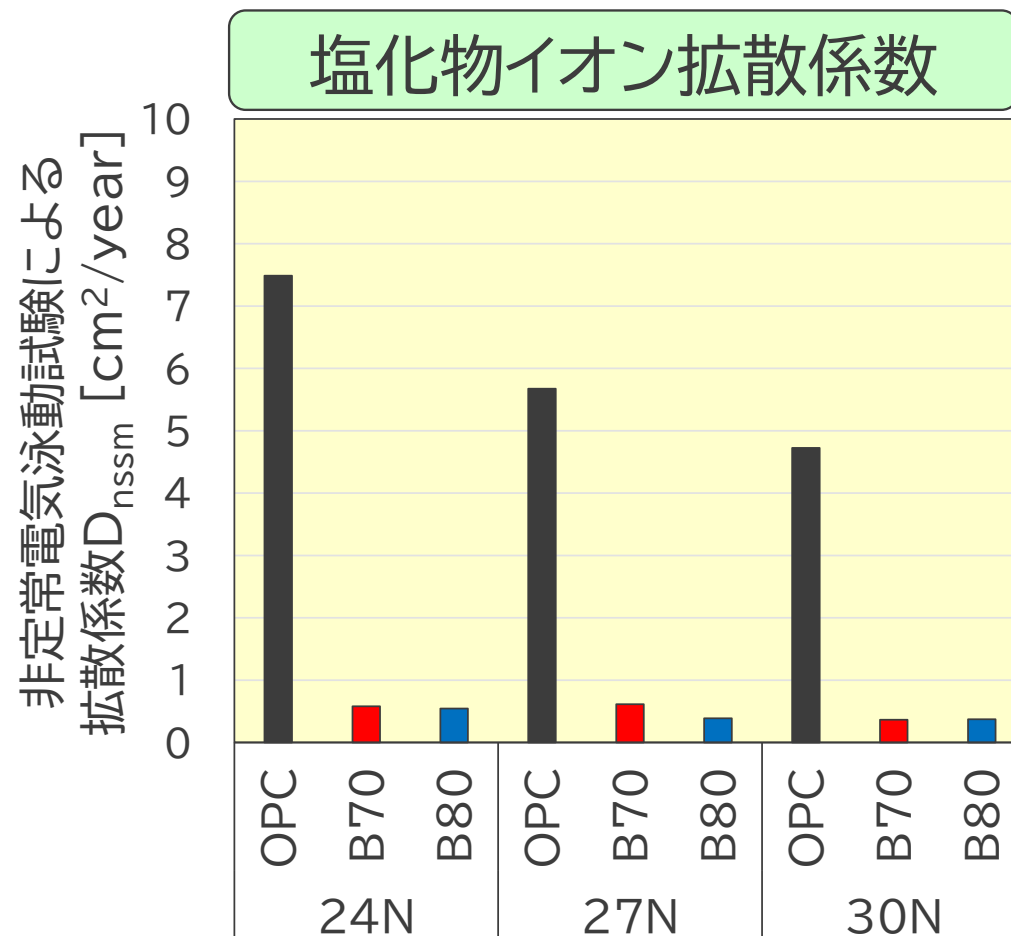
長さ変化率



1-B 硬化特性



中性化抵抗性は低い

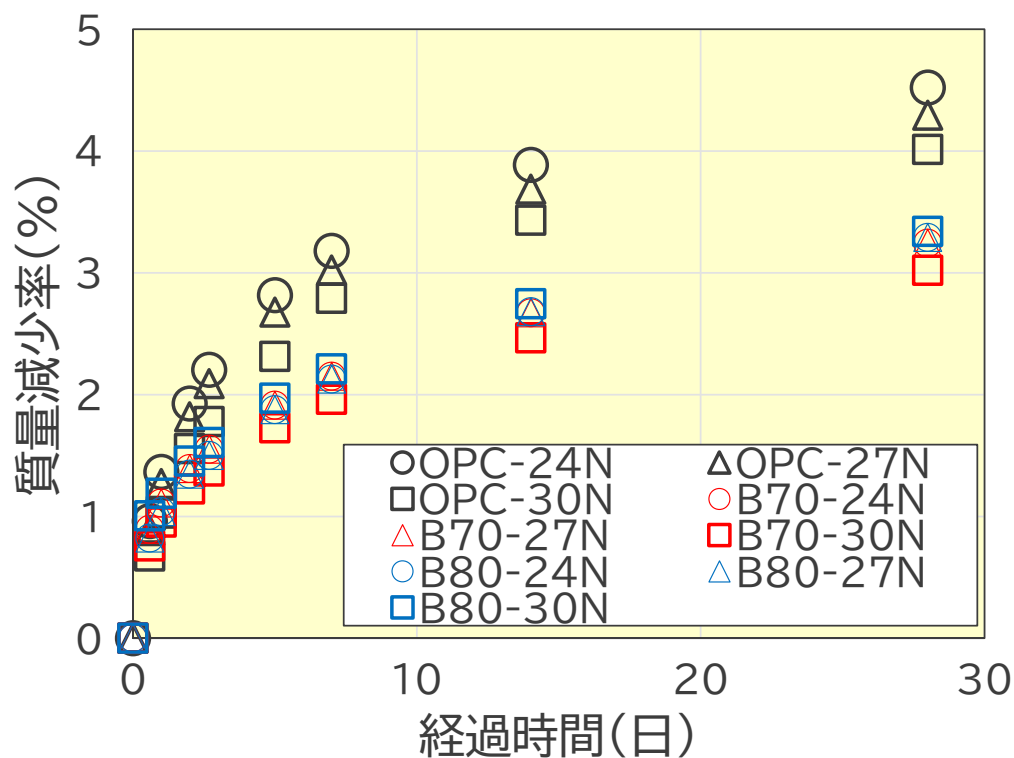


遮塩性は高い

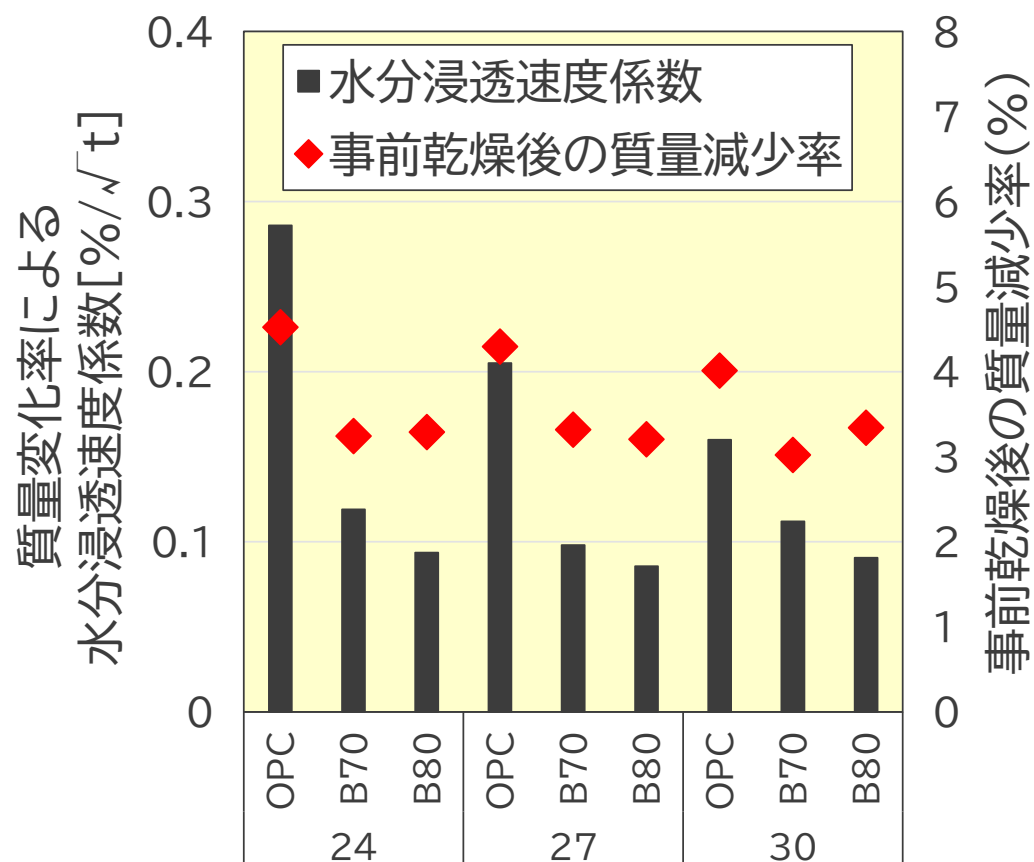
1-B 硬化特性

事前乾燥時の質量減少率

事前乾燥条件: 40℃ RH30% 28日間



水分浸透速度係数





実構造物を模擬した実験による施工性および 硬化体品質変動の検証

2

2-A実構造物を模擬した実験による施工性の検証

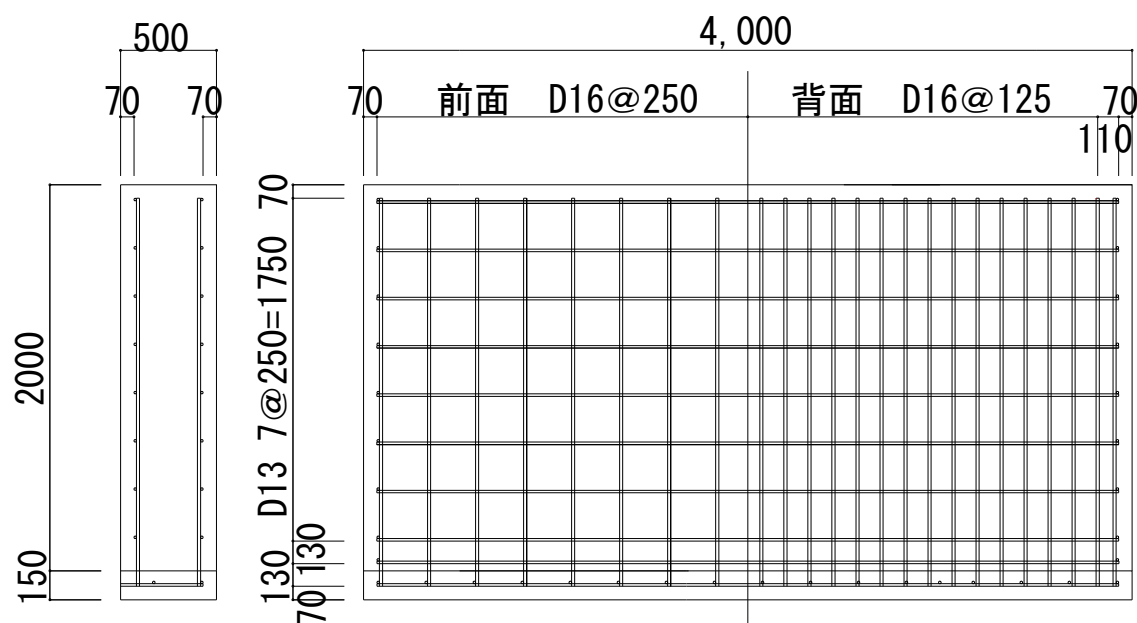
実構造物模擬部材・・・ 壁:幅0.5m, 長さ4m, 高さ2m(4m^3)

実験場所・・・ 施工ヤード:東急建設(株)技術研究所(神奈川県相模原市)

施工方法・・・ 場内運搬:ポンプ圧送, 打上がり速度: 4m/h , 想定施工時間:30分

コンクリート配合・・・ 呼び強度: 27N (OPC, B70, B80), 流動性:SF45cm

※比較として, 27N -OPC-SL12cmも作製



部材寸法・配筋図



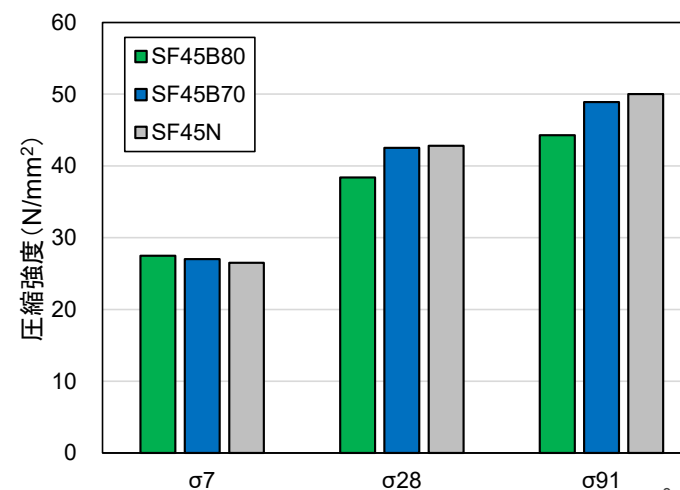
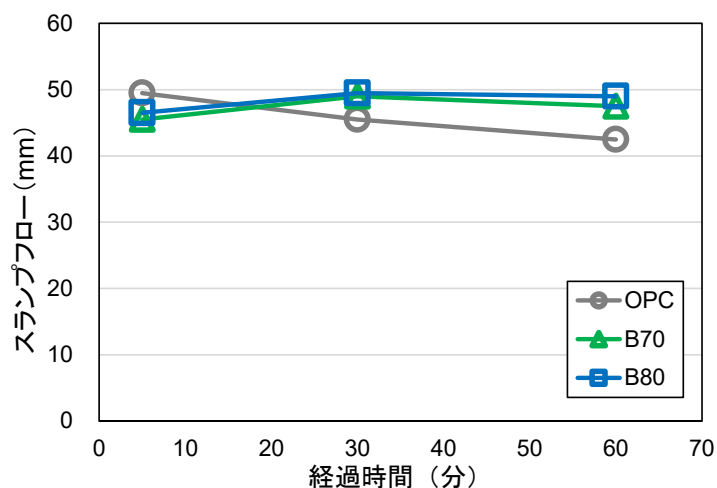
実験前(鉄筋・型枠組立完了)の状況

2-A実構造物を模擬した実験による施工性の検証

生コンプラントでの試験結果

配合名	W/B [%]	s/a [%]	単位量 [kg/m ³]						実測値(30分経過時)			
			W	C	BS	S	G	Ad	SF [cm]	Air [%]	Vpass [mm/s]	δ [%]
OPC-27N	55	53	180	327	0	941	834	4.09	46.0	4.0	32.6	73
B70-27N	50	50	174	104	244	879	876	4.18	47.0	4.7	48.7	70
B80-27N	46	48	172	75	299	834	899	4.49	49.0	3.8	40.4	75

S:S1～S3の混合, G:G1とG2の混合, Ad:高性能AE減水剤標準型I種



2-A実構造物を模擬した実験による施工性の検証

施工の合理化

施工データより施工の合理化程度を整理(SL12cmの施工と比較)

配合	比較 vs SL12			
	人員 (%)	打込み (%)	締固め (%)	延べ時間 (%)
SL12N	-	-	-	-
SF45N	100	61.8	50.1	48.2
SF45B70	100	52.0	49.7	46.8
SF45B80	100	53.6	39.5	42.4

※人員は施工管理, 締固め, 補助, ポンプOPの4人, 締固めはΦ40mm棒状バイブレータ1本使用
打込み・締固め時間は各単体の作業時間, 延べ時間は作業開始から終了までの時間を表す

部材あたりの数量が少ないため施工人員は変わらなかったが
施工時間は50%以上削減できることが確認できた

2-A実構造物を模擬した実験による施工性の検証

出来栄え(目視評価法による採点)

SL12N
17.5点



SF45B80
18.0点



SF45N
17.8点



SF45B70
17.5点



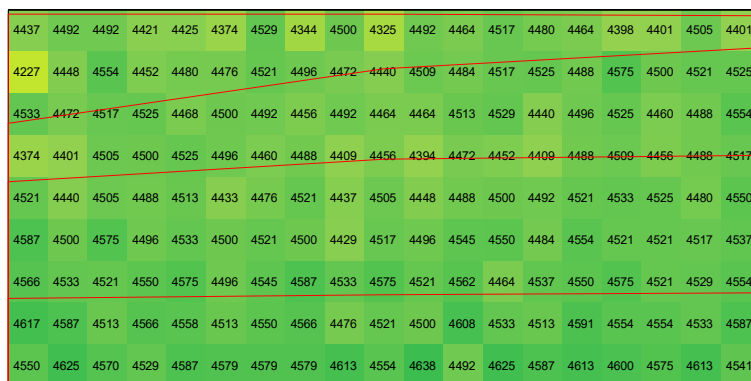
初期欠陥はなく, 時間・労力を掛けて施工したSL12Nと同等以上の出来栄え

2-A実構造物を模擬した実験による硬化体品質変動の検証

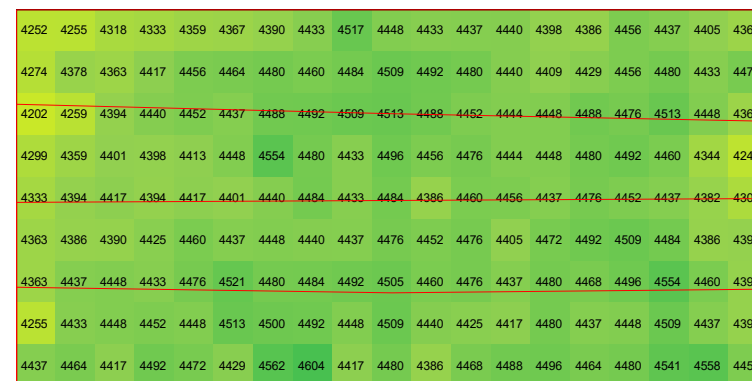
硬化品質(均質性:試験体の超音波伝播速度(m/sec))



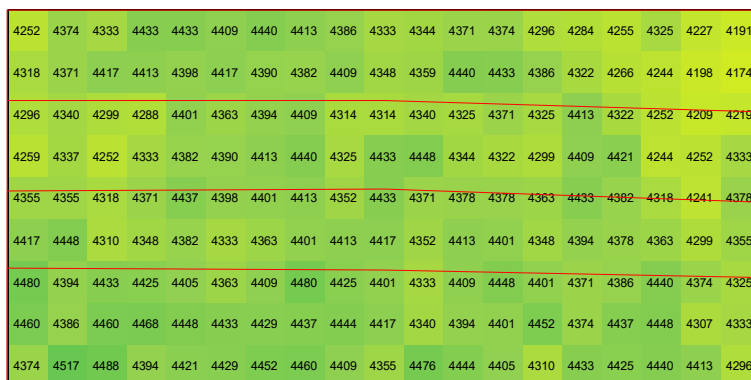
SL12N
TP.4426
Ave.4508
Max:4638
Min:4227
CV.1.3%



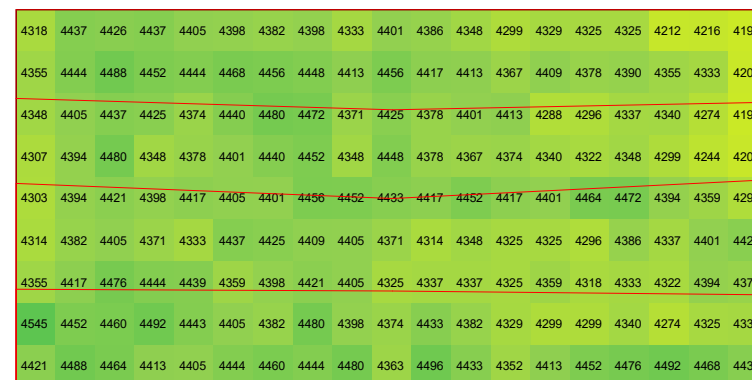
SF45B80
TP.4449
Ave.4439
Max:4604
Min:4202
CV.1.4%



SF45N
TP.4330
Ave.4373
Max:4517
Min:4174
CV.1.5%



SF45B70
TP.4406
Ave.4386
Max:4545
Min:4191
CV.1.5%



超音波伝播速度で判定されるコンクリートの品質「良」、ばらつきは小さい

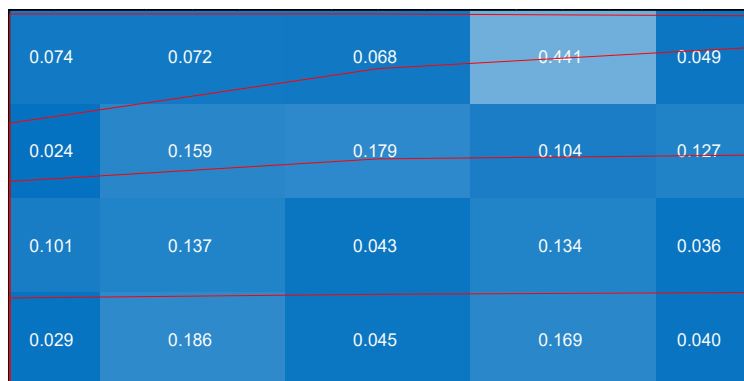
2-A実構造物を模擬した実験による硬化体品質変動の検証

硬化品質(試験体の表層透気係数(10^{-16}m^2))

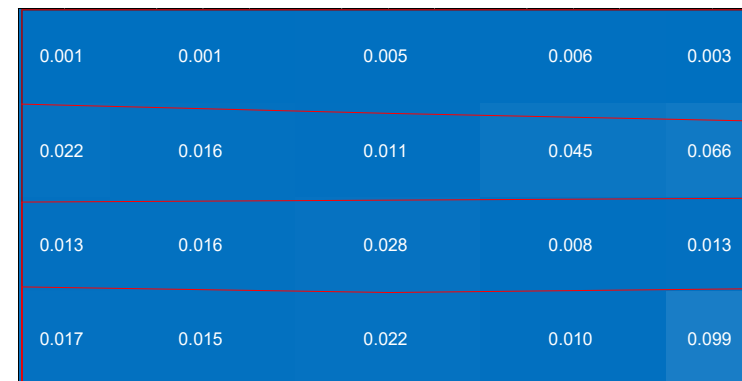
MIN:0.001 MAX:1.0



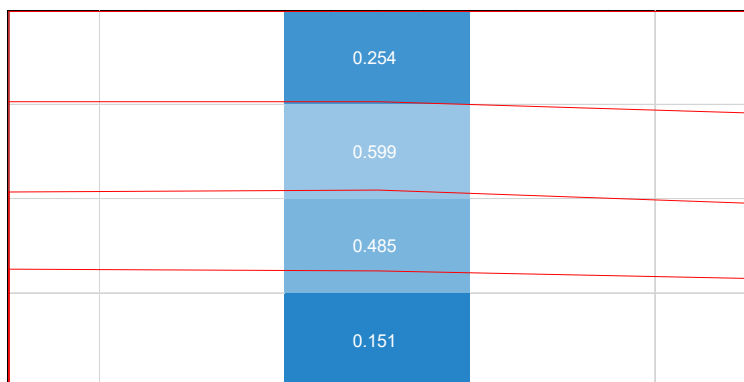
SL12N
TP.0.051
Ave.0.111
Max:0.441
Min:0.024
CV.82.9%



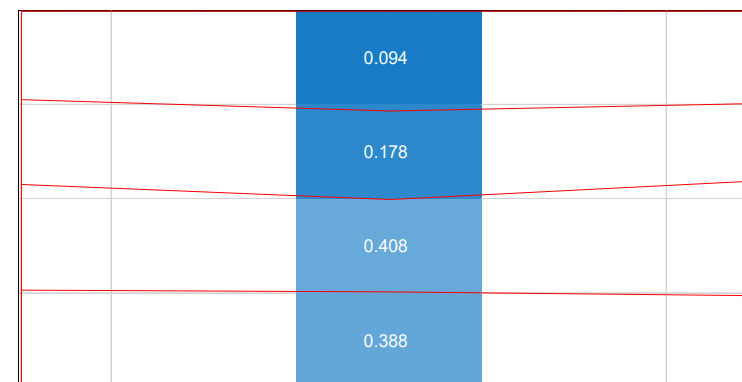
SF45B80
TP.0.067
Ave.0.021
Max:0.099
Min:0.001
CV.112.3%



SF45N
TP.0.208
Ave.0.372
Max:0.599
Min:0.151
CV.47.9%



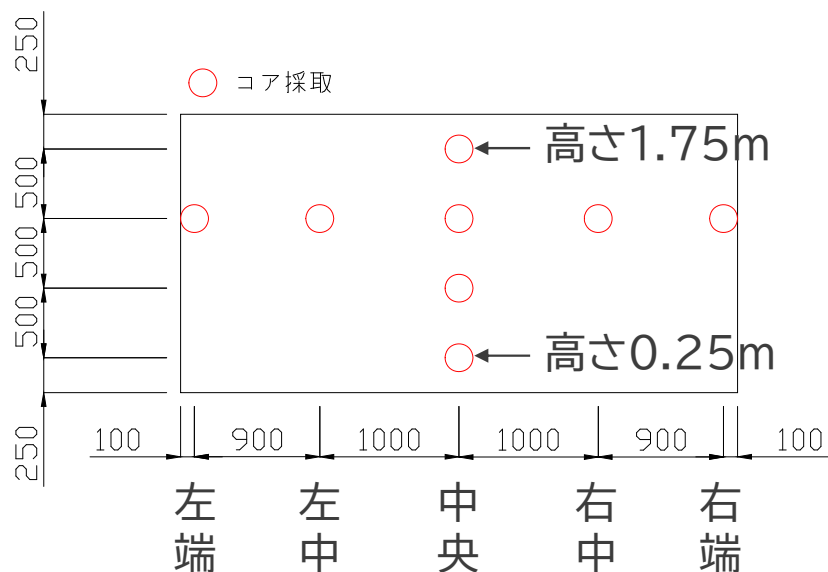
SF45B70
TP.0.200
Ave.0.267
Max:0.408
Min:0.094
CV.50.4%



表層透気係数で判定されるコンクリートの品質「良」～「一般」, 各コンクリート種類でばらつき小

2-A実構造物を模擬した実験による硬化体品質変動の検証

硬化品質(力学的特性: コア供試体の圧縮強度, 静弾性係数)



種類	圧縮強度比	静弾性係数比
SL12-N	0.97~1.06	1.00~1.04
SF45-N	0.94~1.13	0.88~1.08
SF45-B70	1.00~1.23	0.94~1.13
SF45-B80	0.82~1.01	0.91~1.12
自己充填 (既往研究)	0.77~1.15	

自己充填性を有する高流動コンクリートと同程度の強度の変動

2-B実構造物を模擬した実験による施工性の検証

技術ニーズ

「GXの取組として、環境負荷軽減の材料にて根固めブロックの製作・備蓄」
→根固めブロックを対象とした実大規模による**施工性の検証, 施工コスト,**
CO₂排出量・吸収量の試算について検討実施
・・・施工実験で製作した部材はCO₂吸収量の評価のため暴露試験予定

コンクリート配合

呼び強度:27N(B80), 流動性:SF45cm
※比較として, 24-N-SL8cmも作製

施工方法

トラックアジテータのシュート, 締固めの有無



根固めブロック3t級(1.21m³)

2-B実構造物を模擬した実験による施工性の検証

施工性の確認方法

測定項目

施工時:フレッシュ性状, 施工時間(打込み, 締固め), 充填状況, 施工者の活動量

脱型後:出来栄え, 力学的特性, 物質移動抵抗性, CO₂吸収量(今後, 測定)



実験状況

2-B実構造物を模擬した実験による施工性の検証

施工の合理化

施工データより施工の合理化程度を整理(SL8cmの施工と比較)

配合	締固め	比較 vs SL8		
		打込み (%)	締固め (%)	延べ時間 (%)
SL8N	有り	-	-	-
SF45B80		87.6	13.9	48.0
SF45B80	無し	66.4	-	33.2

※人員は施工管理, 締固め, 補助の4人, 締固めはΦ40mm棒状バイブレータ1本使用

打込み・締固め時間は各単体の作業時間, 延べ時間は作業開始から終了までの時間(蓋設置を除く)を表す

壁部材と同様に
施工時間は50%以上削減できることが確認できた

2-B実構造物を模擬した実験による施工性の検証

施工の合理化

締固めを行わないケースでは豆板が発生

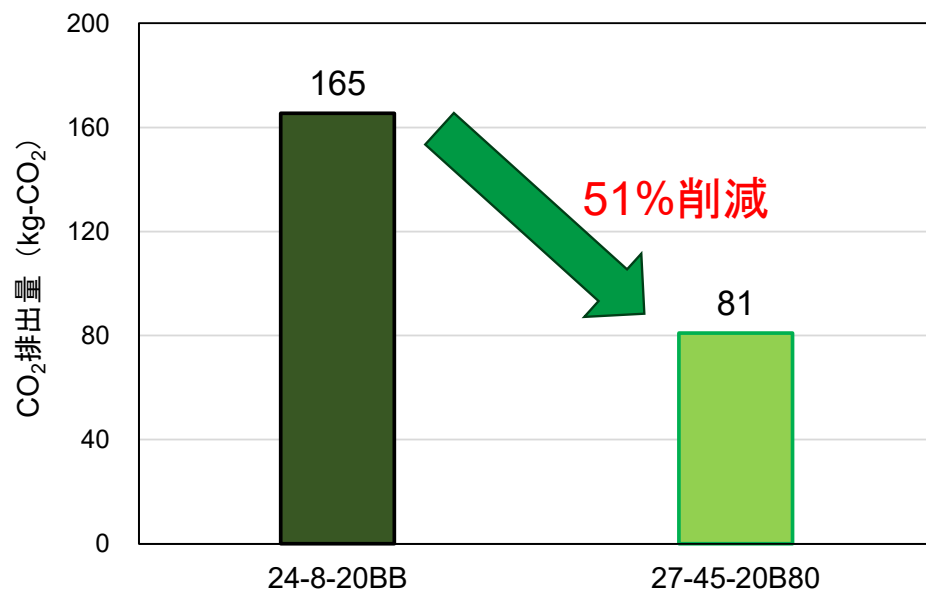


施工時の見た目では充填しているようにみえたが、軽微な締固めは重要！

2-B実構造物を模擬した実験による硬化品質変動の検証

CO₂排出量・吸収量

根固めブロックへの適用によりCO₂排出量を製造時で51%削減



CO₂排出量／根固めBL1体(1.21m³)

壁部材の結果から、中性化進行を仮定

根固めブロックは表面積が大きいので
中性化するコンクリートの容積が大きい

約55mmの中性化進行(約76年)で
カーボンニュートラル

⇒備蓄期間中に環境貢献が可能

これまでの成果のまとめ

混和材大量使用締固めを必要とする高流動コンクリートについて、

普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートと比較して、

- ・圧縮強度, 静弾性係数は同等程度
- ・水分浸透抵抗性や遮塩性は大幅に向上
- ・中性化に対する抵抗性は低い, 長さ変化も長期的には少し大きい

上記を考慮して, 鋼材腐食抑制方法を検討する必要がある

実大施工実験の結果より, 開発コンクリートの施工性と硬化品質は、

- ・壁, 根固めBLともに施工時間を50%以上削減できる
- ・壁の出来栄や硬化品質は同等以上

構築コスト, CO₂コストの試算

Masamitsu Suzuki, Yoshitaka Kato :
Case Study on the Effect of Mechanically-compacting Flowable Concrete with Low CO₂ Emission on
Productivity, Economic Efficiency, and Environmental Impact,
Journal of Advanced Concrete Technology,
22 巻 9 号 p. 576-587, 2024.9
DOI <https://doi.org/10.3151/jact.22.576>

3

構造物に適用した際の施工性, 構築コスト, CO₂排出量の試算

構造物	部材	コンクリート 数量 (m³)	設計 基準強度 (N/mm²)	SL (cm)	かぶり (mm)
道路橋 下部工	底版	148	24	8	80
	柱	39	30		
	梁	57			45

検討ケース

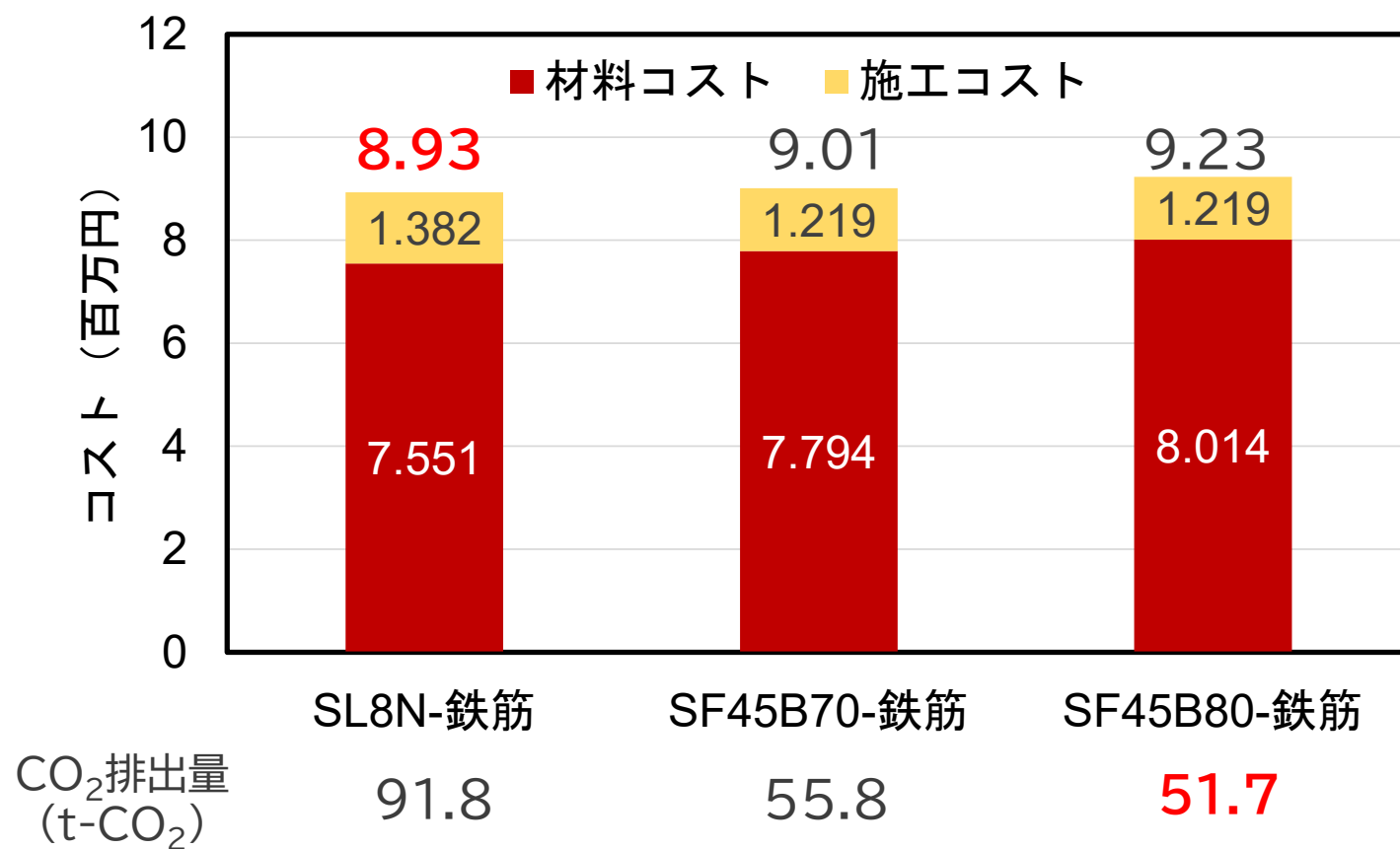
基準となるSL8-Nと同等の硬化体品質を有するように水粉体比を設定

- SF45-B70
- SF45-B80

SF45の施工性は, 2-Aの結果を活用

構造物に適用した際の施工性, 構築コスト, CO₂排出量の試算

構築コストとCO₂排出量



構成割合
 材料: 84.5~86.8%
 施工: 13.2~15.5%

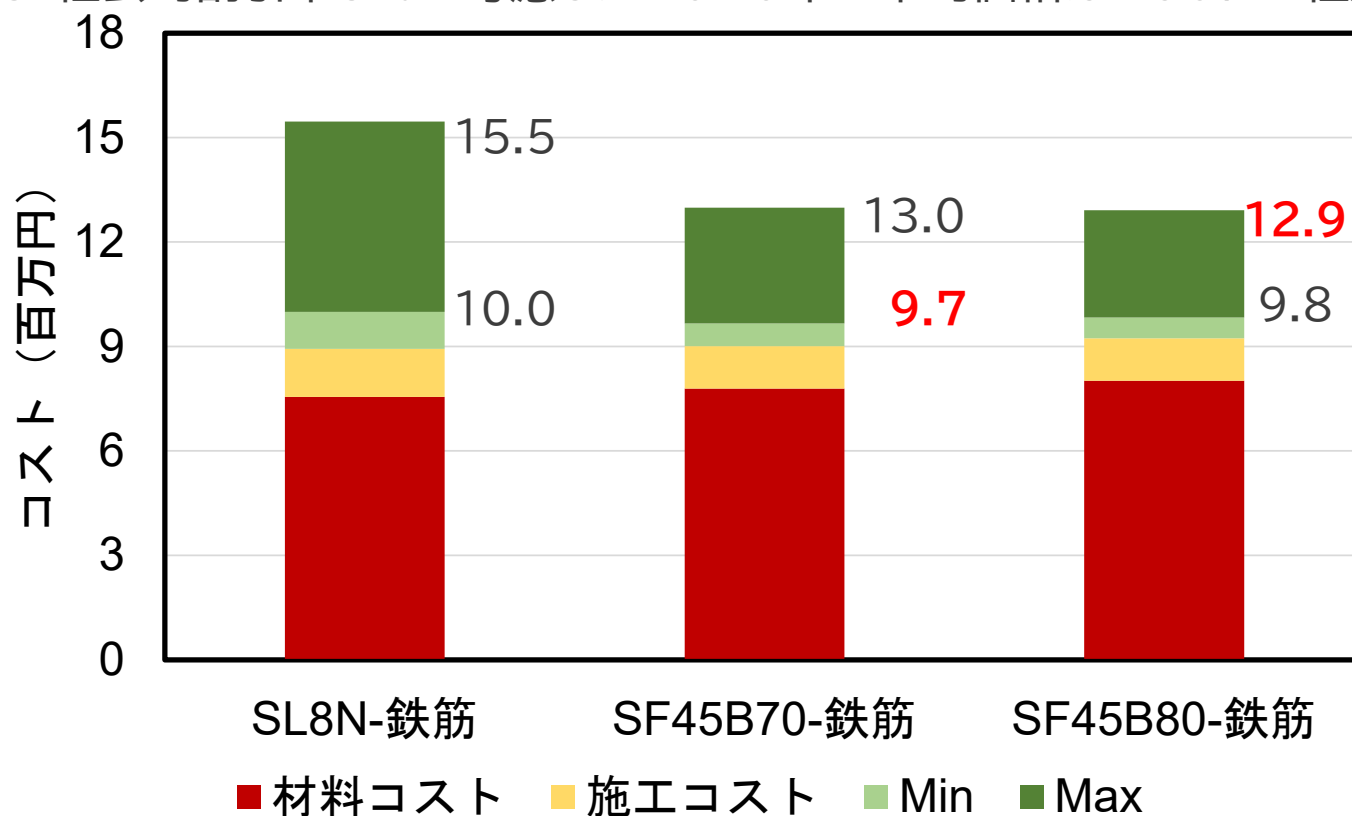
構造物に適用した際の施工性, 構築コスト, CO₂排出量の試算

CO₂価格

IMF:75ドル

IPCC:社会的割引率5%を考慮した2020年の平均価格は460ドル程度

1ドル=154.63円(2024.11.07)



ご清聴ありがとうございました



東京理科大学



東急建設