

## 【維持管理・長寿命化技術】

改質セメントによるコンクリートの高耐久化技術

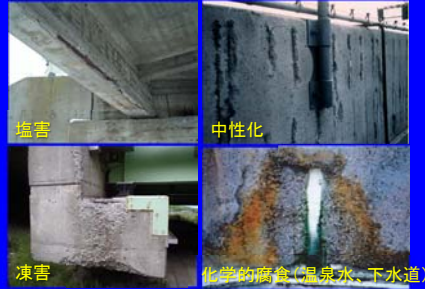
## 改質セメントによる コンクリートの高耐久化技術

土木研究所 寒地土木研究所  
寒地保全技術研究グループ 耐寒材料チーム  
吉田 行

<共同研究: 北海道大学、日鐵セメント株式会社、日本サミコン株式会社>

### 技術開発の背景

#### コンクリート構造物の劣化が顕在化



- ・維持管理費、補修費等LCCの増加
- ・補修・改築工事に伴う環境負荷の増大

#### 性能規定型設計 体系への移行



#### 耐久性の確保



目標期間100年

長期的な耐久性の確保が重要

### 技術開発の背景

#### 近年のコンクリートの要求性能

- ・長期的な耐久性の確保(長寿命)
- ・維持管理費の削減(LCCの削減)
- ・環境に及ぼす影響の低減

#### コンクリート構造物の高耐久化

- ex: 道路橋示方書では
- ・塩害対策区分S、所定かぶり+
  - ・塗装鉄筋の使用
  - ・コンクリート塗装などを併用

初期コスト等の増加

#### コンクリート自体の高耐久化

- ・効率的なLCCの削減
- ・環境負荷の低減も可能

セメント(結合材)の改質  
各種セメントと混和材の積極的な利用

## セメント(結合材)の改質

コンクリートに求められる性能  
(性能設計 耐用年数100年)

#### 橋梁下部工、擁壁等

- ・耐久性(耐塩害性、耐凍害性等)
- ・ひび割れ抵抗性(乾燥収縮)
- ・低発熱性(大規模、温度ひび割れ)

- ・低熱セメント(ビーライト系セメント)
- ・高炉スラグ微粉末

#### 橋梁上部工(PC)

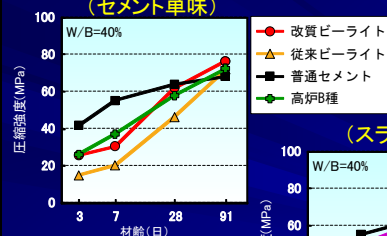
- ・耐久性(耐塩害性、耐凍害性等)
- ・ひび割れ抵抗性(乾燥、自己収縮)
- ・早期強度

- ・早強セメント(早期強度の確保)
- ・各種混和材の組合せ  
(高炉スラグ、フライアッシュ、シリカフェーム)

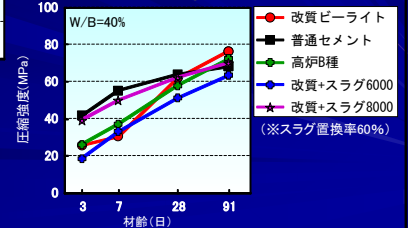
物性  
(強度、発熱、収縮特性)

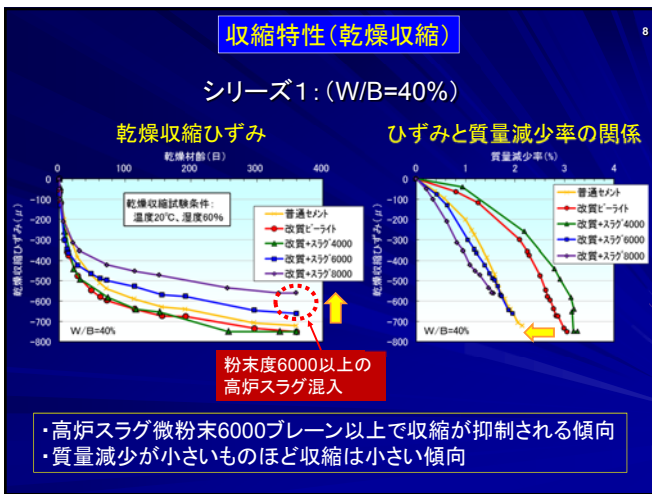
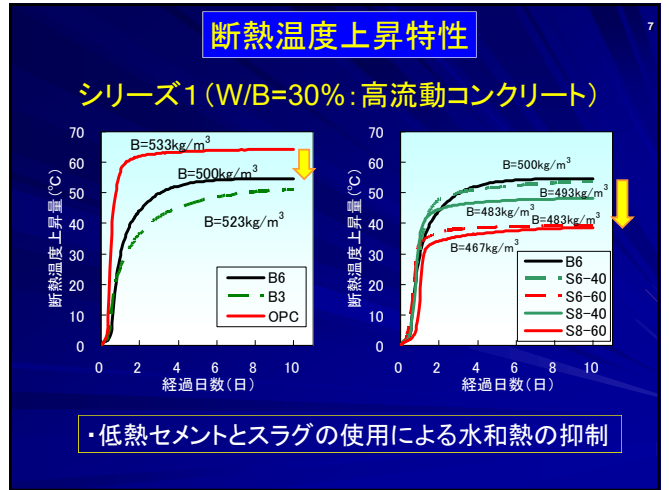
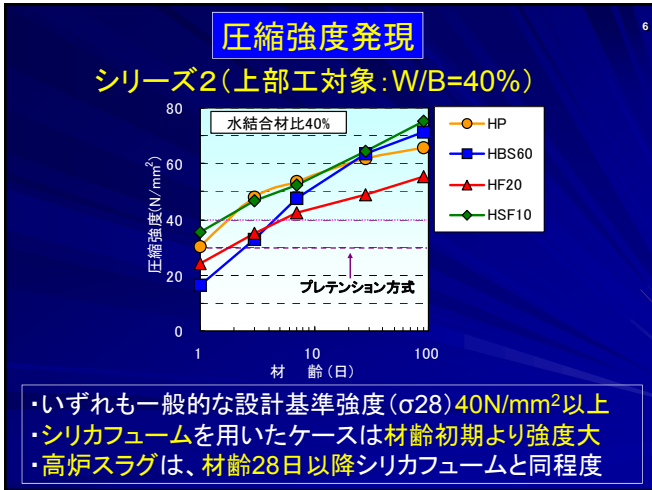
### 圧縮強度発現

#### シリーズ1 (橋梁下部対象: W/B=40%) (セメント単味)



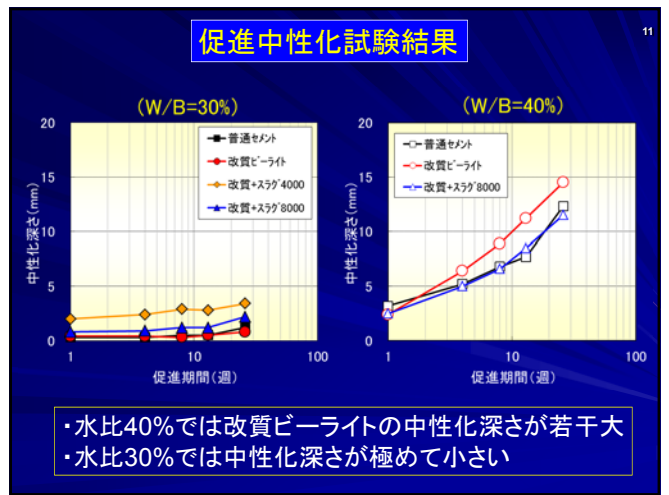
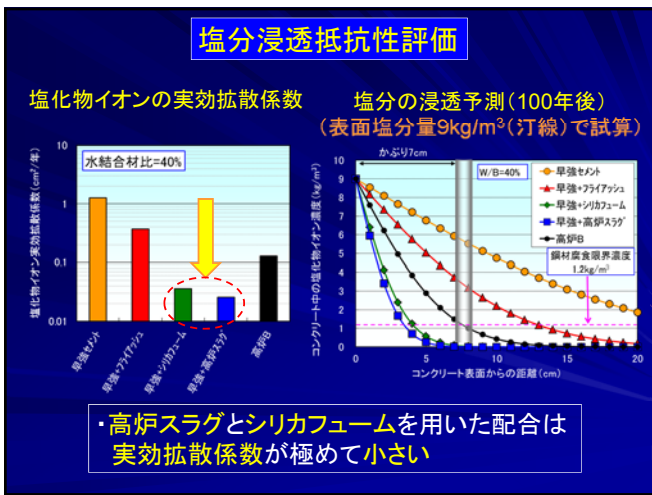
#### (スラグ置換)



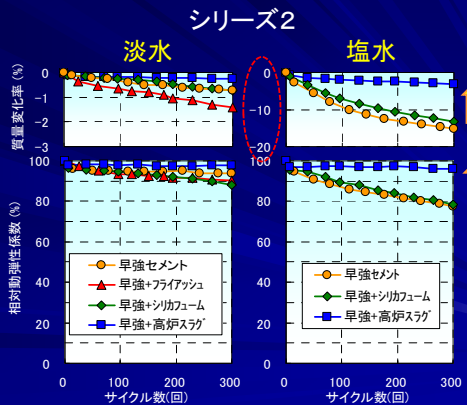


### 耐久性試験結果

(塩分浸透、中性化、凍結融解、スケーリング抵抗性、化学的抵抗性)



## 凍結融解試験結果 (JIS A 1148水中凍結融解)



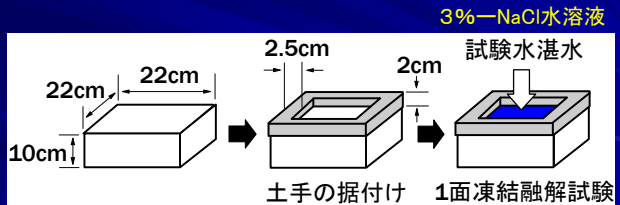
## スケーリング試験の概要

●ASTM C 672

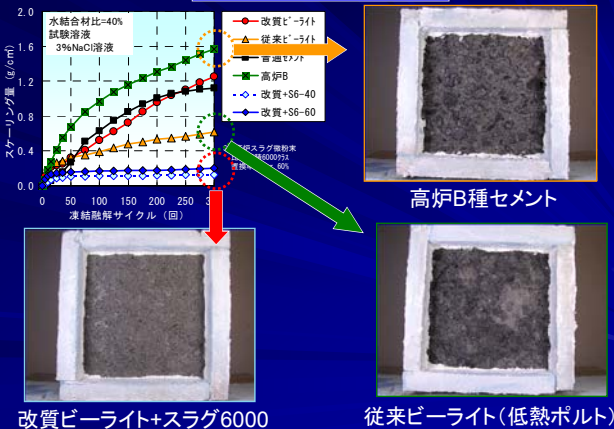
温度履歴 (1サイクル):  $-18^{\circ}\text{C}$  (16時間)  $\sim 23^{\circ}\text{C}$  (8時間)  
目視評価、スケーリング量、深さ測定

●養生:

7日間湿布養生  $\rightarrow$  28日まで気中養生 (相対湿度60%、温度 $20^{\circ}\text{C}$ )

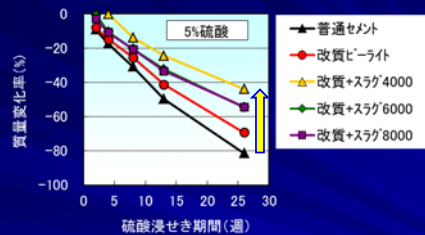


## スケーリング抵抗性



## 化学的抵抗性

硫酸浸せき試験結果 (硫酸濃度: 5% (pH $\approx$ 約0.1))



## 性能一覧

### シリーズ1

対象 構造物 (用途)	セメントの種類	塩化率特性		収縮特性	中性化		凍害		耐久性		31- $\text{cm}$ の 耐圧性	化学的 抵抗性
		短期	中・長期		自己 収縮	乾燥収縮	中性化 深さ	塩害	凍害	凍害		
一般 構造物	普通ポルトランドセメント	○	○	○	△	○	△	○	△	△	○	×
	高炉種セメント	△	○	(△)	(△)	(△)	△	-	(△)	○	○	○
	改質ビーライト系セメント	○	○	○	△	○	○	△	○	△	○	△
	低熱ポルトランドセメント	△	○	○	△	○	-	-	-	○	○	○
	改質ビーライト+高炉スラグ4000	×	△	○	△	△	○	-	○	△	○	○
補修、補強、 橋台などの大 型構造物	改質ビーライト+高炉スラグ6000	△	○	○	(○)	○	-	-	○	○	○	○
	改質ビーライト+高炉スラグ8000	○	○	○	(○)	○	-	-	○	○	○	○
	改質ビーライト+高炉スラグ8000	○	○	○	(○)	○	-	-	○	○	○	○

### シリーズ2

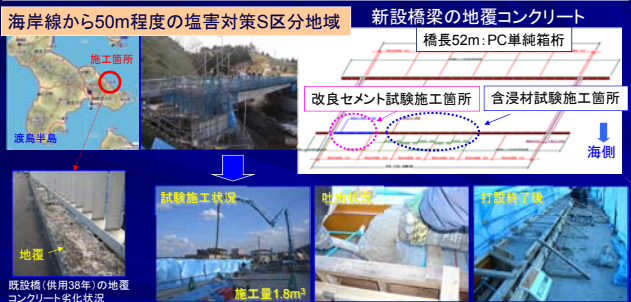
対象 構造物 (用途)	セメントの種類	塩化率特性		収縮特性	中性化		凍害		耐久性		31- $\text{cm}$ の 耐圧性	化学的 抵抗性
		短期	中・長期		自己 収縮	乾燥収縮	中性化 深さ	塩害	凍害	凍害		
PC 構造物や 橋脚工	普通ポルトランドセメント	○	○	○	△	○	△	○	△	△	○	(×)
	早強+高炉スラグ6000	△	○	○	○	△	(○)	○	○	○	○	(○)
	早強+シリカフューム	○	○	○	-	△	(○)	○	○	○	△	(△)
	早強+フライアッシュ	△	△	○	○	△	(○)	○	○	○	△	(△)

● 要求性能およびLCCを考慮した適切な選択が重要

## 試験施工事例 (1)

### 改質セメントコンクリートの試験施工 (橋梁地覆)

・早強セメントと高炉スラグ微粉末を組合せたコンクリート (W/B=40%) の性能評価



・ポンプ圧送性・・・脈動もなく良好 (施工性の検証)  
・耐久性に関する調査を継続

### 試験施工事例(2)

**■改質セメントコンクリートの試験施工(皿形側溝)**

・早強、普通セメントと高炉スラグ微粉末を組合せたコンクリートの性能評価

**皿形側溝**



**U型トラフ**



**道路用縁石**



**護岸堤  
模擬試験体**








工場製品への適用性の確認

### 試験施工事例(2)

**■改質セメントコンクリートの試験施工(工場製品)**

・早強、普通セメントと高炉スラグ微粉末を組合せたコンクリートの性能評価

調査1割分(1年経過後)

製品1(普通+スラグ)	製品2(早強+スラグ)	製品3(早強+スラグ)
製品4(普通+スラグ)	製品5(早強+スラグ)	製品6(早強+スラグ)

即脱製品    開発品



北海道の峠(6合目および7合目付近の登り車線側)  
既設劣化状況




(6合目付近)    (7合目付近)




・耐久性に関する調査を継続(即時脱型製品との比較)

### 皿形側溝の試験施工前後

**施工箇所①付近**



**施工箇所②**

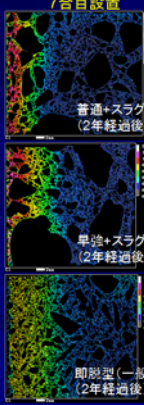


・冬期間は概ね雪に覆われている(雪の下は未確認)  
・凍結防止剤の影響を受ける環境下にある

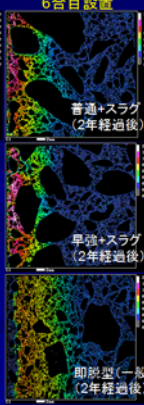
### 塩化物イオンの浸透状況(流込み型2年目)

皿形側溝製品上面(浸透面)

7合目設置

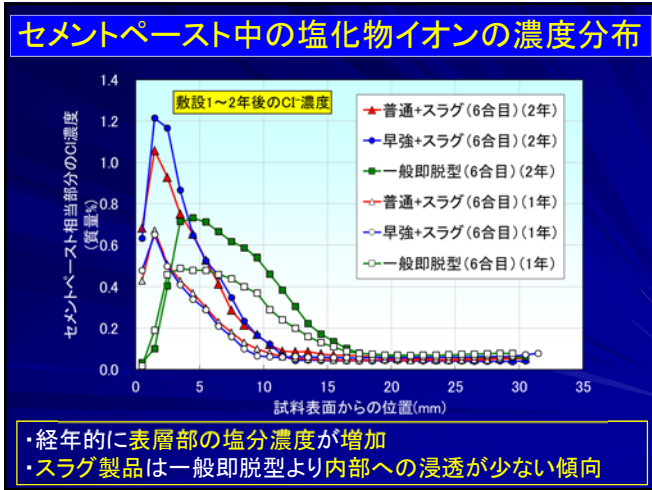


6合目設置



・塩分浸透深さ  
スラグ製品 < 即脱型

・極表面層が低濃度  
特に即脱型  
→ 中性化の影響



### 暴露試験の概要

・海水が遡上  
・冬期には結水することがある  
・RC矢板による特殊護岸堤(昭和55~平成4年に施工)

↓


塩害・凍害・すり減り(結水)等による著しい劣化が顕在化

↓

対策の一つとして耐久性を高めたコンクリートの適用(高炉スラグ微粉末を用いたコンクリート)

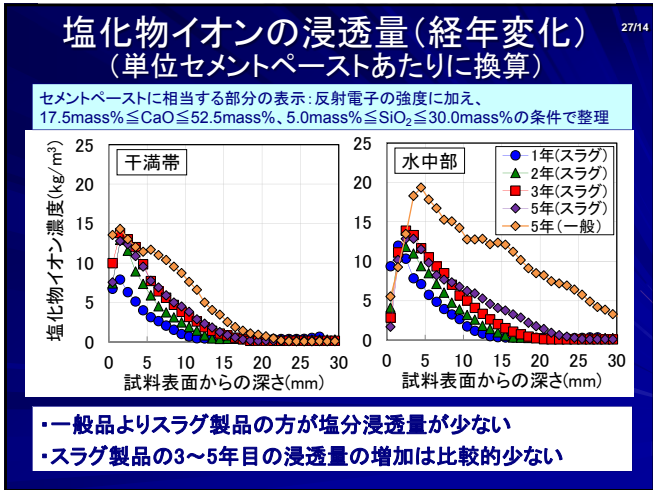
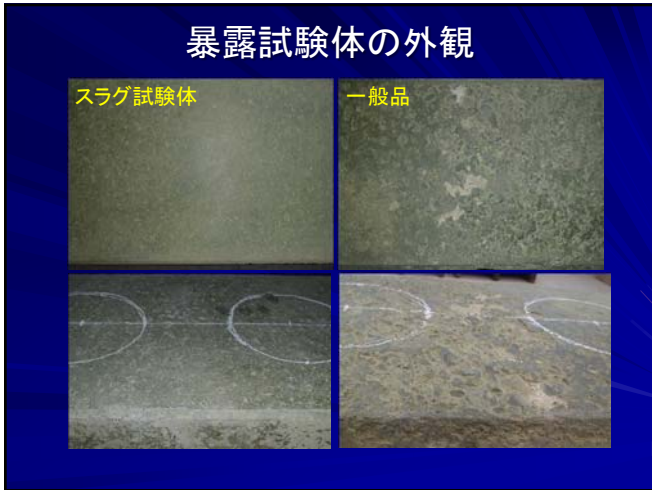
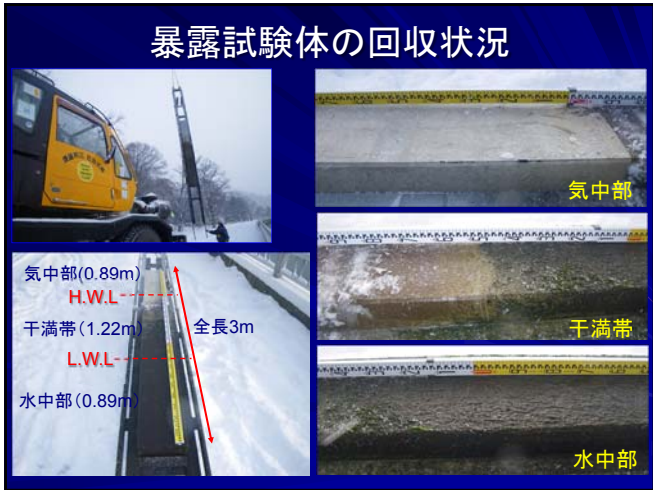
↓

実環境下で5年間暴露したコンクリートの耐久性



施工後十数年以上経過

既設護岸堤の劣化状況



### 早強セメント+高炉スラグ6000(LCC試算例)

橋梁形式: ポストテンション方式Tげた橋(現場打ち施工)  
(改質セメントコンクリート単価: 通常の1.2倍程度)

橋長	m	90
橋脚数	(-)	2
総延長	m	10.7
橋本数の個数	個	2
計算期間	年	100

環境区分	ケース1(一般乗車使用)	ケース2(高耐久セメント)
塩害対策区分	塩害対策区分S	塩害対策区分S
連結防止部	使用する	使用する
交通量	交通量普通	交通量普通
コンクリート強度(N/mm <sup>2</sup> )	60 ex-40N/mm <sup>2</sup>	60 ex-40N/mm <sup>2</sup>
コンクリート種類	標準(早強)コンクリート	改質セメント
かぶり	70mm	70mm
鉄筋	圧入率5%鉄筋部分使用	普通鉄筋
PC鋼材継ぎ目	普通PC鋼材	普通PC鋼材
PC鋼材接続部	普通PC鋼材	普通PC鋼材
シーラント継ぎ目	ポリエチレンシーラント	ポリエチレンシーラント
シーラント接続部	ポリエチレンシーラント	ポリエチレンシーラント
表面塗装	防錆塗装	標準塗装
支保	ゴム支保 TYPEB	ゴム支保 TYPEB
舗装	高耐久設置(2/2)	高耐久設置(2/2)
防凍	コンクリート製凍害防止	コンクリート製凍害防止
橋脚	普通アスファルト舗装	普通アスファルト舗装
橋脚防水	シート防水	シート防水
橋本防水	シート防水	シート防水
橋本橋	鋼製	鋼製

使用ソフト「新設PC橋のライフサイクルコスト(橋RCソリューションズ)」  
((社)プレストレスト・コンクリート建設業協会監修)

初期コストで5%、100年後で20%程度のコスト縮減が可能

### ■改質セメントを用いたコンクリートの設計施工マニュアル(案)

#### 第1章 総則

#### 1.1 適用範囲

(1) この設計施工マニュアル(案)は、各種セメントおよび混和材の適切な組合せにより耐久性の向上を図る、改質セメントを用いたコンクリートの設計施工についての一般の標準を示すものである。このマニュアル(案)に示されていない事項は、土木学会コンクリート標準示方書および関連する施工指針等による。

(2) この設計施工マニュアル(案)における混和材の置換率の範囲は、各種混和材を用いた混合セメントのB種相当を標準とする。

#### 1.2 用語の定義

**改質セメント**—各種セメントおよび各種混和材の種類および置換率を、コンクリートの要求性能に応じて適切に組み合わせ、従来の一般的なセメントよりも性能を向上させた結合材の総称

**混和材**—セメントあるいは骨材の一部を代替して用い、セメントとの使用により、ポゾラン反応あるいは潜在水硬性を有する無機質粉末。なお、本マニュアル(案)では、高炉スラグ微粉末、シリカフェームおよびフライアッシュに限定する。(膨張材は収縮抑制対策として別途定義)

**改質セメントを用いたコンクリートの設計施工マニュアル(案)**

**第2章 コンクリートの品質**

**2.1 総則**  
改質セメントを用いたコンクリートは、**高性能減水剤**または**高性能AE減水剤**によって、品質のばらつきが少なく、作業に適するワーカビリティを有するとともに、硬化後は所要の性能を持つものでなければならない。

**2.2 セメントと混和材の種類および混和材置換率の選定**  
セメントと混和材の種類および混和材置換率は、その使用目的に応じて要求されるコンクリートの品質を満足するように適切なものを選定しなければならない。

**各種結合材を用いたコンクリートの性能**

対象 種別物 (単位)	セメントの種類	凍害発現特性			収縮特性			中性化			塩害			凍害			凍害			スラブ厚 抵抗係数	化学的 抵抗係数	
		初期	中-長期	長期	自己 収縮	W/W	W/W	W/W	凍害	凍害	凍害	凍害	凍害	凍害	凍害	凍害	凍害	凍害	凍害			
普通コンクリート	1	○	○	○	△	△	△	△	(○)	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
高性能コンクリート	2	○	○	○	△	△	△	△	(○)	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
高強度コンクリート	3	○	○	○	△	△	△	△	(○)	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
早強コンクリート	4	○	○	○	△	△	△	△	(○)	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△

(○) 極めて良好、(●) 良好、(△) 適用環境や要求性能による判断が必要、(×) 別途対策が必要、(※) 検討中、(―) 未実施

**第3章 材料** → セメント、混和材(剤)に関する規定

**改質セメントを用いたコンクリートの設計施工マニュアル(案)**

**第4章 配合**

**ひび割れ抵抗性の照査**

コンクリートの性能の設定

収縮ひび割れ抵抗性の照査  
(収縮ひび割れ量の予測と照査)

ひび割れ抵抗性を満足する  
結合材の種類、水結合材比の領域抽出

耐久性の照査  
(各特性値の予測と照査)

中性化 塩害 凍害

耐久性を満足する  
結合材の種類、配合条件の決定

強度の照査

要求性能を満足する配合の決定

**配合設計フロー**

ひび割れ抵抗性の照査

要求性能の決定  
ひび割れ発生確率  
ひび割れ指数の算定:  $I_{cr}$

使用材料、配合の選定  
拘束応力、引張強度の予測  
ひび割れ指数の算定:  $I_{cr}$

引張強度、ヤング係数  
 $f_{ct} = 0.23 \sqrt{f_{cm}^{0.7}}$   
 $E_c = 11,000 + 1.7 \times 10^{-5} f_{cm} (E_c \geq 14,000)$

耐久性の照査

中性化 塩害 凍害

耐久性を満足する配合の決定

強度の照査

要求性能を満足する配合の決定

**改質セメントを用いたコンクリートの設計施工マニュアル(案)**

**第5章 コンクリートの製造および打込み**  
貯蔵設備、計量、練混ぜ、運搬および打込みに関する基本的事項

**第6章 養生**  
**6.2 湿潤養生**  
混和材を用いたコンクリートは、特に、初期の養生が極めて重要  
→ **混合セメントB種の湿潤養生基準を標準とする**

**湿潤養生期間の標準**

日平均気温	普通セメント	混合セメントB種	早強セメント
15℃以上	5日	7日	3日
10℃以上	7日	9日	4日
5℃以上	9日	12日	5日

**第7章 工場製品**  
工場製品の製造および成形において、特に必要な事項  
→コンクリートの品質(促進養生)、製造方法(流込み、即時脱型方式)

**改質セメントを用いたコンクリートの設計施工マニュアル(案)**

**特に留意すべき事項**

- 各種セメントや混和材を用いたコンクリートの性能評価は、事前に試験練り等を行い確認することが原則
- 各種セメントや混和材の選定にあたっては、その供給量や品質を事前に確認するとともに、地域の状況により運搬や貯蔵に費用を要する場合もあるため、供給体制等も含めて確認しておく
- レディーミクストコンクリートや工場製品として実際に用いる場合には、あらかじめコンクリート工場との協議が必要(各種指定事項、製品の種類等)
- 高炉スラグ微粉末に添加される石こう量はJISの上限値の4%程度を推奨(初期強度発現および自己収縮の低減)
- 高性能(AE)減水剤あるいは(AE)減水剤の使用により凝結時間が遅れる傾向があるため、型枠や支保工にかかる圧力を考慮しておく
- 強度が早期に確保された場合でも、所定の養生期間は湿潤状態を保つ(特に寒中コンクリートとして施工する際は留意が必要)

34

**改質セメントを用いた高耐久性コンクリートの設計施工マニュアル(案)**については、寒地土木研究所耐寒材料チームのホームページより無償でダウンロード可能(H26年12月3日より)

本技術に関するお問い合わせは、下記までお願いいたします。

マニュアルダウンロード(耐寒材料チームホームページより)  
<http://zairyu.ceri.go.jp/cei/zairyu/topics5/kaisitu-dr.html>

技術サポートダイヤル  
寒地技術推進室 TEL: 011-590-4050  
MAIL: [gijutusoudan@ceri.go.jp](mailto:gijutusoudan@ceri.go.jp)

研究チーム直通(耐寒材料チーム)  
TEL: 011-841-1719 (担当: 吉田)