

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）

平成 26 年版

独立行政法人土木研究所 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

ホームページへの掲載にあたって

我が国では高度経済成長期に多くの土木構造物が集中して建設されており、今後一斉に更新時期を迎え、財政に大きな負担をかけることが懸念されている。特に積雪寒冷地である北海道では、凍結融解の繰り返しや冬期の凍結防止剤散布等の厳しい気象、使用環境により土木構造物の老朽化が著しく進行しており、凍害および塩害との複合劣化に対して新設構造物の耐久性向上や既存構造物の延命対策が必要となっている。

このため、土木研究所第Ⅱ期中期計画（平成 18 ～ 22 年度）においては、コンクリート耐久性向上技術の開発等を目標に、重点プロジェクト「土木施設の寒地耐久性に関する研究」の個別課題「積雪寒冷地におけるコンクリートの耐久性向上に関する研究」を行ったところであり、土木構造物の長寿命化を図ることにより、維持管理費用の軽減を目指してきた。

本マニュアル（案）は、寒地土木研究所耐寒材料チームが実施した上記研究成果の一部であり、コンクリートに求められる種々の性能に応じて各種セメントや混和材料を適切に組み合わせて性能を向上させた改質セメントを用いた高耐久性コンクリートの設計や施工を行うための技術資料である。そのより広範な普及を図り、多くの土木構造物の長寿命化に貢献するためここに「設計施工マニュアル（案）」としてまとめ、ホームページに掲載するものである。

なお、マニュアル（案）の内容は、まだ実績の少ない部分もあり、技術の進歩に合わせて改訂が必要になるものと考えている。運用にあたっては、構造物管理者と十分打合せをして頂くよう留意願いたい。

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）

目次

1 章	総則	1
1. 1	適用範囲	1
1. 2	用語の定義	2
2 章	改質セメントを用いたコンクリートの品質	4
2. 1	総則	4
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	7
2. 3	強度	8
2. 4	ワーカビリティ	8
3 章	材料	10
3. 1	総則	10
3. 2	セメント	10
3. 3	混和材	11
3. 4	混和剤	12
4 章	配合	13
4. 1	総則	13
4. 2	コンクリートの性能の設定	14
4. 3	ひび割れ抵抗性の照査	15
4. 4	耐久性の照査	21
4. 5	強度の照査	25
4. 6	混和材の置換率	27
4. 7	スランプまたはスランプフロー	27
5 章	コンクリートの製造および打込み	28
5. 1	総則	28
5. 2	貯蔵設備	28
5. 3	計量	29
5. 4	練混ぜ	29
5. 5	運搬および打込み	30

6章 養生	31
6. 1 総則	31
6. 2 湿潤養生	31
6. 3 温度制御養生	32
6. 4 有害な作用に対する保護	33
7章 工場製品	34
7. 1 適用の範囲	34
7. 2 一般	34
7. 3 コンクリートの品質	34
7. 4 製造	35
7. 5 成形	35
参考となる指針・マニュアル一覧	36
改質セメントを用いたコンクリートの関連論文	36

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)

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。ただし、シリカフュームについては、置換率 5～15% を標準の範囲とする。

【解説】(1) について 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を適切に組合せて品質や耐久性を向上させたコンクリートを、厳しい気象・使用環境に建設されるコンクリート構造物や工場製品に適用する場合の設計および施工について、特に配慮すべき事項を示すものである。ここに示されていない事項については、コンクリート標準示方書によらなければならない。また、各種混和材を用いたコンクリートについては、一般のコンクリートとは性能が異なることから、「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針」、「シリカフュームを用いたコンクリートの設計・施工指針(案)」および「フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針(案)」を参照すると良い。また、施工性能については、「施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針(案)」および「コンクリートのポンプ施工指針」を参照すると良い。

(2) について 混和材はコンクリートの各種性能向上に極めて有効な材料であるが、その適切な置換率は混和材の種類によって異なり、置換率が小さすぎるとその効果が顕著には認められない。また、置換率が大きすぎると、材齢初期の強度発現や中性化などの耐久性にも影響する場合があります。養生その他について特に注意すべき事項が多くなる。このため、本マニュアル(案)では、JIS で規定される混合セメント B 種相当の置換率の範囲を標準とし、特に高い耐久性を考慮する場合にはその上限値の採用を標準とする。ただし、シリカフュームの置換率の範囲については、混合セメントとしての JIS 規格が規定されていないため、研究成果や施工実績が多い、5～15%を標準とした。なお、各混和材の設計・施工指針等では、置換率 C 種相当についても適用が認められており、さらにそれを越えて使用した場合についてもいくつか研究が行われている。したがって、その品質およびコンクリートの物性・耐久性とともに、十分に信頼できる施工が可能であることが確認される場合については、それを制限するものではない。

1. 2 用語の定義

本設計施工マニュアル（案）に用いる用語を、次のように定義する。規定のないものはコンクリート標準示方書による。

混和材料—セメント、水、骨材以外の材料でコンクリートやモルタルなどに特別の性質を与えるために、打ち込みを行う前までに必要に応じて加える材料

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、ポズ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、シリカフュームおよびフライアッシュに限定する。

ポズラン—シリカ質微粉末で、それ自体に水硬性はないが、セメントに混合した場合、セメントの水和反応によって生ずる水酸化カルシウムと反応して不溶性の化合物を生成する。この反応をポズラン反応と称し、ポズラン反応をする物質を総称してポズランという。

潜在水硬性：それ自体では水硬性を持たないが、適当な刺激剤を添加することにより、水硬性を示すようになる性質のこと。

高炉スラグ微粉末—製鉄所の溶鉱炉で銑鉄と同時に生成する熔融状態の高炉スラグを水によって急冷した後、これを乾燥・粉砕したもの。またはこれに石こうを添加したもの。潜在水硬性を有している。

シリカフューム—金属シリコンやフェロシリコンを製造する際に発生する非晶質の SiO_2 を主成分とする球形の超微粒子。ポズランの一種。

フライアッシュ—石炭火力発電所等における微粉炭燃焼ボイラの燃焼ガスから集じん器で採取される灰（アッシュ）。ポズランの一種。

膨張材—セメントおよび水と練り混ぜた場合、水和反応によりエトリングイトまたは水酸化カルシウム等を生成し、コンクリートを膨張させる作用のある混和材。なお、本マニュアル（案）では、膨張材は収縮ひび割れ抵抗性を改善する対策としての材料と位置づけ、本マニュアル（案）で記述する混和材には含めない。

結合材—水と反応し、コンクリートの強度発現に寄与する物質を生成するものの総称で、ここでは、セメントおよび混和材を示す。

粉末度—各セメントおよび混和材が規定されているそれぞれの JIS の試験法によって測定されたセメントあるいは混和材の細かさ。比表面積 (cm^2/g) で表す。

置換率—混和材の質量を、結合材の質量で除した値を百分率で表したもの。

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。

【解説】 混和材料について 混和材料は、いろいろなものが市販されており、その種類、性状、使用目的等は多岐に亘っている。一般的には、混和材料のうち、使用量が比較的少なく、容積がコンクリートの配合計算において無視され得る程度のものを混和剤、使用量が比較的多く、コンクリートの性能向上のみならず、経済的効果や環境負荷低減効果も期待できるものを混和材という。

混和材について 上述の通り、広義には、混和材とは使用量が比較的多く、コンクリートの諸

性能を向上することができる材料であり、その種類および使用目的など多岐にわたるが、本マニュアル（案）では、コンクリートの物性や耐久性等の改善効果が特に高い、高炉スラグ微粉末、シリカフュームおよびフライアッシュに限定する。

膨張材について 一般的な定義では膨張材は混和材に含まれるが、膨張材は収縮ひび割れ抵抗性を改善する対策としての材料として扱い、本マニュアル（案）で示す混和材と同意としないこととした。

結合材について 結合材とは、広義には骨材などを結合する材料を示し、セメントペーストが結合材ということになるが、ここではセメントペースト部分の効果に寄与する粉体と定義し、セメントおよび混和材を示す。

比表面積について 比表面積は、水和反応速度及び水和生成物の形態に大きく影響する。各セメント、高炉スラグ微粉末およびフライアッシュについては、JIS R 5201（ブレン方法）により比表面積（ cm^2/g ）を求める。また、シリカフュームについては、JIS R 1626（BET法）により求める。この場合の、吸着質としては窒素を用いる。

置換率について 混和材の質量が、結合材中に占める割合を示すものであり、下式による。

$$\text{置換率} = \frac{A_d}{C + A_d} \times 100(\%)$$

ただし、 C ：セメントの質量

A_d ：混和材の質量

改質セメントについて 従来の一般的なポルトランドセメントや混合セメントを用いたコンクリートよりも性能向上を図ることを目的として、セメントの粉末度や混和材の置換率等を意図的にコントロールするなどにより改質を図った結合材の総称を示す。

2章 改質セメントを用いた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。

【解説】改質セメントを用いたコンクリートは、品質のばらつきが少なく、運搬、打込み、締固め、仕上げ等の作業に適するワーカビリティを有し、硬化後は所要の強度、ひび割れ抵抗性、水密性、耐久性を有するものでなければならない。これは、一般のコンクリートと同様である。

他方、混和材を用いたコンクリートは、混和材の種類や比表面積、置換率などにより、品質やワーカビリティが一般のコンクリートとは異なるほか、組み合わせるベースセメントの種類によってもこれらの特性は異なる。特に、比表面積が大きい混和材を用いる場合には、コンクリート中へ均質に分散させることが重要である。また、コンクリートの長期的な耐久性を確保するには、水結合材比も小さく設定する必要がある。このため、本マニュアル（案）では高性能減水剤または高性能 AE 減水剤を用いることを標準としている。

以下に、改質セメントを用いたコンクリートの諸特性を示す。なお、各種混和材を用いたコンクリートの特性については、「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針」、「シリカフェームを用いたコンクリートの設計・施工指針（案）」および「フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針（案）」を併せて参照すること。

フレッシュコンクリートについて 改質セメントを用いたコンクリートの単位水量は、混和材粒子の形状（フライアッシュは一般に球状粒子）や微細粒子の効果により、これを混和しない同一スランプの通常のコンクリートに比べて少なくなる傾向にある。ただし、その効果を十分に発揮するには、混和材のコンクリート中での均質な分散が必要である。また、比表面積の大きい混和材を用いて単位水量を減じたコンクリートは粘性が大きくなるためコンクリートの材料分離抵抗性が高まるものの、その一方で、施工性の観点からは圧送時の負荷が大きくなるため、適切なワーカビリティを確保する必要がある。これらのことから、高性能減水剤または高性能 AE 減水剤の使用を標準とする。

空気量については、混和材を用いることにより、これを混和しない通常のコンクリートに比べて、同じ空気量を得るための AE 剤の量は一般に増加し、混和材の比表面積や置換率が大きいほど増加する傾向がある。また、フライアッシュやシリカフェームの場合、これらに含まれる未燃炭素が AE 剤を吸着することがあるため、その場合には AE 剤の種類や添加量を適切に選定する必要がある。なお、粘性の高いコンクリートの場合、スランプ等の値にもよるが、AE 剤による空気量の調整を行わなくても多量に空気を巻き込む場合がある。このような場合には、消泡剤と AE 剤を組み合わせることで、不良な空気（エントラップトエア等）を消去し、良質な空気（エントレインドエア）を確保する等、適宜対応する必要がある。また、収縮低減対策として収縮低減剤を用いる場合には、硬化後の空気量の確保が困難となり、凍結融解抵抗性が低下する場合

があるため、収縮低減剤や AE 剤の種類を適切に選定しなければならない。一般的には、高性能 (AE) 減水剤、AE 剤、収縮低減剤等の混和材のメーカーを統一し、目的に応じた種類を選定するのがよい。

ブリーディングは、混和材の比表面積が小さく、置換率が大きい場合には増加する傾向があるが、比表面積が大きい場合には、混和しないコンクリートに比べて減少する。また、水結合材比が 40% 以下の場合には、ブリーディングは極めて減少する。

コンクリートの凝結時間は、一般に混和材を用いることにより遅延する傾向があり、特に高性能 (AE) 減水剤を使用した場合には、凝結の始発時間、終結時間ともに長くなる。なお、混和材を用いたコンクリートは練り上がりおよび養生時の温度の影響を受けやすく、低温下ではより凝結が遅延しブリーディング量も増加するため、コンクリートの打重ねや打継ぎ、型枠脱型時期等に留意する必要がある。

単位容積質量について 混和材の密度はポルトランドセメントに比べて小さいが、その差がコンクリートの質量に与える影響は比較的小さいので、コンクリートの単位容積質量は、混和材を用いない通常のコンクリートと同等と考えて良い。

強度について 改質セメントを用いたコンクリートの強度発現は、混和材の種類、比表面積、置換率に加え、ベースセメントの種類により大きく異なる。シリカフュームを用いたコンクリートは、ポゾラン反応やマイクロフィラー効果（充填率を向上させる物理的効果）により、材齢初期から長期まで強度改善効果が高い。一方、高炉スラグ微粉末やフライアッシュを混和したコンクリートは、材齢初期の強度発現が小さいが、長期材齢では一般のコンクリートと同等以上となる。また、温度および乾燥の影響を受けやすく、低温下における初期の強度発現は小さく、養生初期に乾燥を受けると強度発現が悪くなる。このため、養生時の温度の確保と十分な湿潤養生を行うことが特に重要である。なお、高炉スラグ微粉末の場合、比表面積が大きいほど材齢初期の強度は大きくなり、さらに高炉スラグ微粉末に添加される石膏量が多いほど初期強度発現は改善される。また、組み合わせるベースセメントの種類により、初期や長期の強度発現を変えることができる。

改質セメントを用いたコンクリートの圧縮強度と引張強度の関係は、一般のコンクリートの場合と同じと考えて良い。また、圧縮強度とヤング係数の関係は、組み合わせるベースセメントの種類や水結合材比により異なるが、概ね一般のコンクリートのものと同様の傾向である。しかし、ばらつきを考慮し安全側で設計する場合は、土木学会コンクリート標準示方書に示されているヤング係数の 90% 程度とするのが良い。

発熱特性について 改質セメントを用いたコンクリートの発熱特性は、混和材の種類、比表面積、置換率に加え、ベースセメントの種類の影響を受ける。混和材をセメントの内割置換として用いた場合、ポルトランドセメントを用いた一般のコンクリートに比して終局の断熱温度上昇量は小さくなる。特に、混和材としてフライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を用いた場合は、比表面積が小さく、置換率が大きいほど終局断熱温度上昇量は低下し、発熱速度も遅くなる。ただし、高炉スラグ微粉末は温度依存性が高いため、置換率が小さく、練り上がり温度が大きい場合には、普通ポルトランドセメントを用いた場合よりも終局断熱温度上昇量が大きくなる場合がある。このため、その比表面積および置換率に留意する必要がある。

耐久性について 改質セメントを用いたコンクリートの耐久性は、混和材の種類、比表面積、置換率に加え、ベースセメントの種類の影響を受ける。混和材を用いたコンクリートは、十分な

湿潤養生を行うことにより細孔は緻密になり、特に混和材の比表面積が大きく置換率が高いほど 50nm 以上の比較的粗大な細孔が減少するため、一般に耐久性は向上する。いずれの混和材も、その置換率を各混合セメント B 種における混和材置換率の上限値とすることにより、高い耐久性向上効果が期待できる。

耐凍害性については、コンクリートが緻密になることで凍結水量が減少し、凍結温度が低下するプラスの効果がある。しかし、その一方で細孔内の自由水が一部凍結し、未凍結水が細孔内部を移動した場合、細孔が緻密なほど細孔内部に生じる水圧は高まるというマイナスの効果も発生する。これらのプラスとマイナスの効果は水結合材比を小さくするとさらに大きくなり、細孔の緻密化だけでは必ずしも耐凍害性を確保することは出来ない場合がある。このため、改質セメントを用いたコンクリートで耐凍害性を確保するには、AE 剤を用いて適切な空気量を確保する必要があり、高い耐凍害性を確保するには、第 4 章で後述するように 6%程度の空気量を確保するのが良い。また、塩分が作用する場合には、凍害が促進されることが知られている。室内試験により検討した結果から、塩分が作用する場合でも、比表面積 6000 ブレーンクラスの高炉スラグ微粉末を 60%置換したコンクリートでは、高い耐凍害性が確保出来ることが確認されている。

化学的侵食に対する抵抗性は、改質セメントを用いたコンクリートでは水和過程において水酸化カルシウムが減少し、酸による膨張性水和物が生成しにくくなるため、その向上が期待できる。

アルカリシリカ反応に対しては、混和材をセメントの内割置換とすることにより、コンクリートの総アルカリ量が低減できるため、アルカリシリカ反応の抑制対策として有効である。

水密性について 上述の通り、改質セメントを用いたコンクリートは、細孔構造が緻密になるため、水密性の向上が期待できる。ただし、材齢初期の組織構造が十分に形成されていない時点では、通常のコンクリートよりも水密性が低くなることもあるため、留意が必要である。

鋼材を保護する性能について コンクリート中の鋼材を保護する性能には、塩化物イオンおよび酸素の浸透に対する抵抗性、中性化に対する抵抗性等が関係している。

塩化物イオンの浸透に対しては、細孔構造の緻密化に加え、塩化物イオンの固定化なども影響し、特に高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは塩化物イオンの浸透に対する抵抗性が極めて高いことが確認されている。また、酸素透過性は細孔構造の緻密化による向上が期待できる。

中性化に対する抵抗性については、中性化の原因となる二酸化炭素等の透過性とともコンクリートのアルカリ性を保持する水酸化カルシウムの量が影響する。混和材を用いたコンクリートは、水酸化カルシウムが少なくなり、さらに中庸熱や低熱ポルトランドセメントと組み合わせた場合には、水酸化カルシウム量が極めて低下するため、中性化に対する抵抗性は一般に低下する。しかし、コンクリートの水結合材比の低下と十分な湿潤養生により細孔構造が緻密化するため、中性化の原因因子の侵入速度が低下することから、これらを適切に選定することにより中性化に対する抵抗性を確保することが可能である。

収縮について 収縮については、混和材の種類、比表面積、置換率により異なり、特に、高性能減水剤等と組み合わせて混和材を用いることにより同一スランプを得るために必要となる単位水量が低減されること、また、組織構造の緻密化によりコンクリート内部の水分逸散が抑制されることから、乾燥収縮の抑制効果が期待できる。一方、混和材の比表面積が大きい高炉スラグ微粉末やシリカフュームを用いたコンクリートは、特に低水結合材比では、自己収縮が大きくなるため留意が必要である。なお、高炉スラグ微粉末の場合、スラグに添加する石膏量により水和初期に膨張挙動となり、自己収縮を抑制（収縮補償）する効果があることが確認されているため、

石膏の添加量を適切に選定することは収縮の抑制対策として考慮しても良い。なお、クリープについては、既存の指針等でも見解が異なる場合があるため、試験等により確認することが望ましい。

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。

【解説】2. 1の解説で述べたように、改質セメントを用いたコンクリートには、一般のコンクリートとは異なる種々の特性がある。特に混和材の使用により期待される効果としては、①耐久性の向上、②水和熱による温度上昇の抑制、③アルカリ骨材反応の抑制、④施工性（流動性）の改善、⑤高強度化等が挙げられる。しかしこれらの効果は、混和材の種類（比表面積を含め）や置換率、ベースセメントとの組合せにより異なることに加え、水結合材比の大小の影響も受ける。

したがって、セメントと混和材の種類や混和材置換率の選定にあたっては、セメントと混和材の組み合わせ効果や高性能（AE）減水剤との相性も考慮し、本マニュアル（案）にしたがって十分な検討を行い、その効果を確認しておくことが重要である。解説 表 2.1 は適用する構造物の要求性能に合わせて、（独）土木研究所寒地土木研究所で実施した研究成果を取りまとめたものであり、コンクリートに求められる性能に応じて、混和材の種類や置換率、ベースセメントとの組合せを選定する際の参考となるものである。

なお、これら一覧はあくまでも相対的に評価したものであり、×と示されている場合でも、現場や施工条件等によっては全く問題ないか、別途対策を組み合わせることで問題が生じないケースもあり、その反対に◎であっても適用にあたり留意すべき点が生じることも考えられる。このため、選定にあたっては要求性能、種々の条件およびライフサイクルコスト等を総合的に判断する必要がある。

解説 表 2.1 各種結合材を用いたコンクリートの性能一覧

対象 構造物 (用途)	セメントの種類	強度発現特性				断熱 温度	収縮特性				耐久性									
		初期 1～7	中・長期強度 7～28 91以降		自己 収縮 (W/B30)		乾燥収縮 W/B 30以下 W/B 40以上		中性化 W/B 30以下 W/B 40以上		塩害 W/B 30以下 W/B 40以上		凍害 (空気量による) W/B 30以下 W/B 40以上		スケーリング 抵抗性 (W/B40)		化学的 抵抗性			
			1～7	7～28			91以降	W/B 30以下	W/B 40以上	W/B 30以下	W/B 40以上	W/B 30以下	W/B 40以上	W/B 30以下	W/B 40以上	W/B 30以下		W/B 40以上	W/B 40	W/B 45
一般 構造物	普通ポルトランドセメント	◎	◎	○	×	△	○	△	◎	○	△	△	△	◎	◎	△	×			
	高炉B種セメント	△	○	○	(△)	(△)	(△)	(△)	-	(△)	◎	○	(○)	(○)	×	○				
擁壁、橋脚、 橋台などの大 型構造物	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	×	△	○	○	△	△	△	-	◎	-	○	○	-	○					
	改質ビーライト+高炉スラグ6000	△	○	○	◎	◎ (60%)	◎	○	-	-	◎	◎	◎	○	◎	○				
	改質ビーライト+高炉スラグ8000	◎	○	○	◎	◎ (60%)	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	○	-	○				

対象 構造物 (用途)	セメントの種類	強度発現特性				断熱 温度	収縮特性				耐久性													
		初期 1～7	中・長期強度 7～28 91以降		自己 収縮 W/B 40以下		乾燥収縮 W/B 35% W/B 40% W/B 45%		中性化 未実施	塩害 W/B 40以下 W/B 45%	凍害 (真水) W/B 40以下 W/B 45%		凍害 (塩水) W/B 40以下 W/B 45%		スケーリング 抵抗性 W/B 35% W/B 40% W/B 45%				化学的 抵抗性 未実施					
			1～7	7～28			91以降	W/B 35%			W/B 40%	W/B 45%	W/B 40以下	W/B 45%	W/B 40以下	W/B 45%	W/B 35%	W/B 40%		W/B 45%				
PC構造物や 冬期施工	早強ポルトランドセメント	◎	◎	○	×	△	○	△	△	(◎)	△	△	◎	◎	○	△	△	○	(×)					
	早強+高炉スラグ6000	△	○	◎	◎	△	○	○	△	(○)	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	△	(○)					
	早強+シリカフェウム	◎	◎	◎	△	○	-	△	△	(○)	○	△	◎	◎	○	△	△	△	(△)					
	早強+フライアッシュ	△	△	○	○	○	-	△	△	(○)	△	△	○	○	△	×	△	○	(△)					

(◎: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)

注) 表中の改質ビーライト系セメントとは、JIS R 5210 で規定される低熱ポルトランドセメント

を粉砕して比表面積を $6400\text{cm}^2/\text{g}$ 程度まで高めたセメントである。また、高炉スラグ 4000、6000、8000 は JIS A 6206 で規定される高炉スラグ微粉末の種類に相当している。

2. 3 強度

(1) 改質セメントを用いたコンクリートの強度は、一般に材齢 28 日における標準養生を行った供試体の圧縮強度で表すものとする。

(2) 必要に応じて、施工時の各段階で必要となるコンクリートの強度発現を確認しなければならない。

【解説】(1) について 改質セメントを用いたコンクリートの圧縮強度発現は、ベースセメントの種類やそれと組み合わせる混和材の種類により大きく異なり、特に高炉スラグ微粉末やフライアッシュは材齢初期の強度発現が一般のセメントよりも低くなる傾向にあるが、混和材の特性である潜在水硬性やポゾラン反応により、長期的には強度が増大する。また、実際の構造物では、そのコンクリートの強度が標準養生を行った供試体の材齢 28 日における強度を著しく上回るようなコンクリートの養生を期待できない場合が多い。したがって、通常のコンクリートと同様に一律的に材齢 28 日の圧縮強度を標準とすることは、合理的ではないとも考えられる。しかし、一般の構造物に用いるコンクリートにおいて、長期材齢の強度を標準として用いることは現実的ではない。また、土木用の構造物では養生終了後の強度増加も期待できること、および本マニュアル(案)で示す改質セメントコンクリートは、長期的な耐久性を確保する観点から土木構造物で一般的に用いられているコンクリートよりは水セメント比が小さい。以上のことを総合的に考慮し、構造物の供用開始時のコンクリートの強度は、一般には、標準養生を行った供試体の材齢 28 日における強度試験値で評価できることとした。

なお、比較的早期に荷重が作用する構造物の場合、28 日より早い材齢における供試体の強度を基準として良い。また、長期強度発現が大きい特性をもつコンクリートを用い、かつ荷重や劣化に影響を及ぼす気象等の影響が作用するまでの養生期間が長い場合には、材齢 28 日より長い材齢における供試体の強度を基準として設定して良い。

(2) について 型枠や支保工の取り外し時期の確認や、プレストレスコンクリート構造物における早期の PC 鋼材の緊張作業が必要な場合など、材齢 28 日より早い段階で必要となる作業が生じる場合は、結合材の種類、配合、打込み温度、環境温度等を考慮して管理強度を別途設定し、満足していることを確認しなければならない。

2. 4 ワーカビリティ

改質セメントを用いたコンクリートは、施工条件、構造条件、環境条件に応じてその運搬、打込み、締固め、仕上げ作業等の作業に適するワーカビリティを有していなければならない。

【解説】所要の性能を有するコンクリート構造物を構築するためには、コンクリートの運搬、打込み、締固め、仕上げ等の作業に適するワーカビリティを有する必要がある。特に、改質セメントを用いたコンクリートは、使用する混和材の種類や比表面積、置換率などにより、ワーカビ

リティーや材料分離抵抗性が一般のコンクリートとは異なるほか、組み合わせるベースセメントの種類によってもこれらの特性は変化する。一般的なコンクリート工事で、問題なく施工が実施されることを重点に置くと、ワーカビリティとして、特に、充填性、圧送性、凝結特性が重要となる。

充填性は、コンクリートが材料分離することなく鉄筋間を円滑に通過し、かぶり部や隅角部等に充填できる性能であり、構造物の種類、部材の種類および大きさ、鋼材量や鋼材の最小空き等の配筋条件とともに、運搬や締固め方法を考慮して適切に定める必要がある。圧送性は、圧送管内で閉塞を起こすことなく、計画された圧送条件の下で所定の圧送量を確保できるように設定する必要がある、作業に適するスランプおよび分離抵抗性を確保する必要がある。これら充填性および圧送性の設定にあたっては、「2012 年制定コンクリート標準示方書 [施工編: 施工標準]」、「施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針 (案)」および「コンクリートのポンプ施工指針」等を参照するとよい。また、凝結特性については、コンクリートの締固め、許容打重ね時間間隔、仕上げ時期、型枠に作用する側圧等と関連するものである。暑中コンクリートや寒中コンクリート等では、打込み時期や打込み温度等に応じて、凝結を遅らせたり早めたりするなど、適切な凝結特性とする必要がある。

改質セメントを用いたコンクリートは、微粉末の組み合わせとなることや、耐久性確保の観点から水結合材比が低い領域での使用が中心となることから粘性が高まる傾向にある。このため、土木で標準的に設定されることが多いスランプ 8cm に設定した場合、圧送性が低下する可能性が高い。実際にポンプ圧送を行った事例を紹介すると、ベースセメントに早強セメントを用い、その一部を比表面積 6000 クラスの高炉スラグ微粉末で 60% 内割置換したコンクリートを 20m 程度圧送した際には（水結合材比は 40%、高性能減水剤使用）、スランプ 10～12cm 程度で脈動もなく圧送が良好であることが確認されている。なお、改質セメントを用いたコンクリートは、3. 4 で後述するように、適切な作業性を確保する観点から高性能 (AE) 減水剤の使用を標準としている。このため、凝結特性については、一般的なコンクリートよりも遅延する傾向があるため、JIS A 1147「コンクリートの凝結時間試験方法」による試験等により凝結時間を把握し、それに合わせて施工計画や施工方法を検討するのが良い。

3章 材料

3.1 総 則

材料は、品質の確かめられたものを用いなければならない。

【解説】コンクリートの品質および耐久性は、用いる材料の品質に大きく依存しており、特にセメントや混和材は、コンクリートの性能を決定する重要な材料である。このため、構造物の要求性能に対して、その効果が十分に発揮されるように、品質の確かめられたものを用いることを原則とする。なお、混和材を用いたコンクリートの品質は、養生温度や混和材の種類、置換率などにより変化するため、信頼できる資料によるか、または、実際の工事における使用材料、配合および施工条件と同等の条件であらかじめ試し練りを行い、品質を確認しておくのがよい。

3.2 セメント

- (1) セメントは、JIS R 5210 に適合するものを用いることを標準とする。
- (2) セメントは、要求性能に応じて適切なものを選定する。

【解説】(1) について ベースセメントの種類は、JIS R 5210「ポルトランドセメント」に規定されているものであれば、いずれも使用することができる。ただし、混和材を用いた場合の効果は、使用するセメントの銘柄によって変化する可能性がある。このため、既往の研究成果や施工実績が無い場合には、実際に使用を予定しているセメントや混和材等の材料を用いて試し練りを行い、コンクリートの性状を予め確認しておくことが必要である。なお、ポルトランドセメントには 5%以下の範囲で混合材が含まれているが、混和材の置換率の選定にあたっては、この影響を考慮しなくて良い。

他方、JIS に規定されているセメントには、JIS R 5211「高炉セメント」、JIS R 5212「シリカセメント」および JIS R 5213「フライアッシュセメント」の混合セメントや、JIS R 5214「エコセメント」がある。また、その他にも、超微粉末セメント、アルミナセメント、油井セメント、地熱セメント、白色ポルトランドセメント等の特殊なセメントもある。混合セメントについては、既にポルトランドセメントの一部を混和材で置換したセメントであるが、その一部を新たに混和材で置換しても正確な混和材置換率を把握することが難しく、確実な効果が得られるか判断することが困難である。また、他の特殊なセメントについても、混和材との組合せにより付与される効果が不明な点が多い。このため、本マニュアル（案）においては、これらのセメントと混和材の組合せについては対象外とする。なお、実際にこれらのセメントと混和材を組合せ、試験練りおよび室内試験等によりその特性について確認した場合については、その使用を制限するものではない。

(2) について ベースとなるセメントの種類は、強度発現や発熱特性、耐久性等、出来上がったコンクリートの特性に大きく影響するため、要求される性能に応じて適切なものを選定する必

要がある。普通ポルトランドセメントを使用する場合には、「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針」、「シリカフェームを用いたコンクリートの設計・施工指針（案）」、「フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針（案）」および既往の研究成果が蓄積されているため、これらの資料を参考にすることでコンクリートの性状を比較的容易に予測することが可能である。また、**解説表 2.1** に示したように、(独) 土木研究所寒地土木研究所では、具体的な対象構造物を想定し、特に低発熱性が要求されるマスコンクリートに対しては低熱ポルトランドセメントと混和材の組合せを、寒冷期の施工や早期強度発現が必要となるプレストレストコンクリート構造物に対しては早強ポルトランドセメントと混和材の組合せについて検討を行い、各結合材の性能一覧が整理されている。セメントの選定にあたっては、これらの成果を参考にすると良い。

3. 3 混和材

- (1) 混和材として用いるフライアッシュは、JIS A 6201 に適合したもののうち、Ⅱ種以上を標準とする。
- (2) 混和材として用いる高炉スラグ微粉末は、JIS A 6206 に適合したものを標準とし、高炉スラグ微粉末 6000 および 8000 の使用を推奨する。
- (3) 混和材として用いるシリカフェームは、JIS A 6207 に適合したものを標準とする。
- (4) これらの混和材を用いる場合は、事前に品質や供給量、供給体制を確認すること。

【解説】(1) について 良質なフライアッシュを適切に用いると、コンクリートのワーカビリティの改善による単位水量の減少、水和熱による温度上昇の抑制、水密性や化学抵抗性の向上、アルカリシリカ反応の抑制などの効果が期待される。しかしながら、フライアッシュの品質は、微粉炭品質、ボイラの燃焼方法、捕集方法等によって差異があることから、JIS A 6201「コンクリート用フライアッシュ」に適合したものを採用することとする。なお、JIS では、粉末度と強熱減量との組み合わせによって、Ⅰ種、Ⅱ種、Ⅲ種およびⅣ種の 4 種類のフライアッシュが規定されている。このうち、Ⅲ種はコンクリートの流動性や空気連行性について、Ⅳ種は活性度指数が小さく強度発現について留意する必要がある。本マニュアル(案)ではコンクリートの品質改善と耐久性向上を主目的としていることから、その効果が高く使用実績も豊富なⅡ種以上の使用を標準とした。フライアッシュの使用に際しては、「フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針(案)」を参照するのがよい。

(2) について 高炉スラグ微粉末を適切に用いると、水和発熱速度の低減、塩化物イオン等の劣化因子のコンクリート中への浸透抑制、水密性や化学抵抗性の向上、アルカリシリカ反応の抑制などの効果が期待される。しかしながら、これらの効果は、高炉スラグ微粉末の化学成分や急冷の程度、あるいは粉碎後の粉末度、石こう添加の有無等により差異があることから、JIS A 6206「コンクリート用高炉スラグ微粉末」に適合したものを採用することを標準とする。なお、JIS では、比表面積の大きさにより、高炉スラグ微粉末 4000（比表面積が 3000cm²/g 以上、5000cm²/g 未満）、高炉スラグ微粉末 6000（比表面積が 5000cm²/g 以上、7000cm²/g 未満）、高炉スラグ微粉末 8000（比表面積が 7000cm²/g 以上、10000cm²/g 未満）の 3 種類が規定されている。一般的には高炉スラグ微粉末 4000 を使用するケースが多いが、強度発現や耐久性の向上効果は、高炉スラグ微粉末 6000 および 8000 で極めて高い。このため、本マニュアル（案）では、高炉スラグ微

粉末 6000 および 8000 の使用を推奨している。高炉スラグ微粉末の使用に際しては、「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計施工指針（案）」や「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針」を参照するのがよい。

（３）について 良質なシリカフュームを適切に用いると、材料分離の抑制、強度の著しい増加、水密性や化学抵抗性の向上などの効果が期待される。しかし、シリカフュームはその供給の大半を輸入に頼っており、産地、在庫期間あるいは粉体や粒体の製品の形態により品質の差異が大きいことから、JIS A 6207「コンクリート用シリカフューム」に適合したものをを用いることを標準とする。シリカフュームの使用に際しては、「シリカフュームを用いたコンクリートの設計・施工指針（案）」を参照するのがよい。

（４）について （１）～（３）の混和材は、生産できる地域が限られているものや生産が横ばいの傾向にあり、良質な品質の混和材を大量に継続して入手することが困難な場合があるため、その供給量や品質を事前に確認しておくことが重要である。また、地域の状況によっては材料費だけでなく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ことが重要である。

3. 4 混和剤

（１）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 減水剤を用いることを標準とし、JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」に適合したものを標準とする。

（２）混和剤として用いる AE 剤、減水剤、AE 減水剤、流動化剤は、JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」に適合したものを標準とする。

【解説】（１）について 混和材を用いたコンクリートは、混和材の種類や比表面積、置換率などにより、品質やワーカビリティが一般のコンクリートとは異なるほか、組み合わせるベースセメントの種類によってもこれらの特性は異なる。特に、比表面積が大きい混和材を用いる場合には、コンクリート中へ均質に分散させることが重要である。また、コンクリートの長期的な耐久性を確保するには、水結合材比も小さく設定する必要がある。このため、本マニュアル（案）では高性能減水剤または高性能 AE 減水剤を用いることを標準としている。現在市販されている各種混和剤には多くの種類があり、その品質や性能はそれぞれ異なっている。実際の工事で使用する場合には、混和剤の分散性能だけでなく、スランプロスや凝結遅延などの影響も考慮し、JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」に適合したものをを使用することを標準とする。

（２）について コンクリートの耐凍害性を確保するためには、AE 剤等の使用により適切な空気を連行する必要がある。また、適切なワーカビリティを確保するために、本マニュアル（案）では、高性能減水剤または高性能 AE 減水剤の使用を標準としているが、要求性能によっては減水剤や AE 減水剤の使用、あるいは施工性確保の観点から流動化剤を使用することも考えられる。この場合には、JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」に適合したものをを使用することを標準とする。なお、硬化促進剤については、改質セメントを用いたコンクリートに対する検討が不足しているため、耐久性等への影響を十分に検討しなければならない。

4章 配合

4. 1 総 則

(1) 改質セメントを用いたコンクリートの配合設計においては、所要のひび割れ抵抗性、耐久性、強度を満足する性能および施工時のワーカビリティ等を設定した上で、これらを満足するように、結合材の種類や水結合材比などの配合条件を決定し、使用材料の各単位量を定めなければならない。

(2) 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 減水剤を使用することを標準とする。

【解説】(1) について この章では、改質セメントを用いたコンクリートの目標性能として、ひび割れ抵抗性、耐久性、設計基準強度の各種性能を満足するためのコンクリートの配合設計の方法について示す。改質セメントを用いたコンクリートの配合設計においては、性能規定型設計に基づく設計体系としており、最初にコンクリートに求められる性能を設定する必要がある。なお、実際にはコンクリート構造物に求められる性能であるが、構造物としての耐久性能の照査は現状では困難であることから、構造物に適用されるコンクリートの性能に基づき照査することを前提とする。

解説図 4.1 に改質セメントを用いた高耐久性コンクリートの配合設計フローを示す。従来のコンクリートの配合設計では、必要強度から求められる水セメント比（水結合材比）と、耐久性を満足する水セメント比（水結合材比）の小さい方を採用するのが一般的である。しかし、100 年以上の長期的な耐久性を要求性能とするコンクリートの場合、水結合材比は耐久性により決定される。すなわち、耐久性を向上させるには水結合材比の低減が必要不可欠となるため、構造安全上必要となる設計基準強度は概ね満足できると考えられる。他方、低水結合材比領域のコンクリートでは、自己収縮が増大するなど収縮ひび割れ抵抗性を考慮しなければならない。特に収縮ひび割れのような初期の欠陥は耐久性に影響を及ぼすことが既往の研究でも報告されており、耐久性が高い材料を用いたとしてもひび割れが生じてしまうと長期的な耐久性を確保することが困難となる。このため、改質セメントを用いたコンクリートの配合設計にあたっては、長期的な耐久性の確保を最優先し、低水結合材比特有の課題である収縮ひび割れ抵抗性の照査を最初に行い、ひび割れ抵抗性を満足できる結合材の種類および水結合材比の領域を抽出する流れとした。

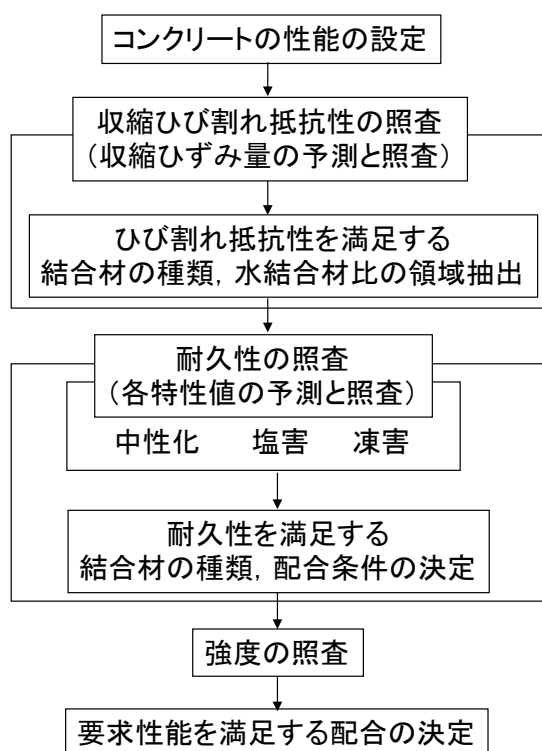
次に、耐久性の照査を行うステップとなるが、耐久性は種々の項目があるため、それぞれの耐久性能について照査を行い、各性能を満足する結合材の種類や水結合材比の領域とひび割れ抵抗性を満足する領域を重ね合わせることで、性能を満足する配合条件の絞り込みが可能となる。この過程により結合材の種類および水結合材比や空気量などの配合条件が決定される。

最後に、強度の照査を行い、ここでは設計基準強度だけでなく、適用する構造物要件により強度発現性についても照査が必要であり、例えば早期の強度発現が要求される場合には、それを満足する結合材および水結合材比を選定することとなる。

なお、ベースセメントの種類、混和材の種類および置換率、水結合材比の選定にあたっては、

前述の解説表 2.1 を参考にあらかじめ候補を選定した後、各種照査を行うのが効率的である。

全体的な配合設計の流れについては以上になるが、これらの過程による絞り込みによっても、複数の材料や配合が選択される場合は、環境負荷低減効果の高い材料や配合条件を加味して最終的な配合を決定する必要がある。



解説図 4.1 配合設計のフロー

(2)について 混和材を用いたコンクリートは、混和材の種類や比表面積、置換率などにより、品質やワーカビリティが一般のコンクリートとは異なるほか、組み合わせるベースセメントの種類によってもこれらの特性は異なる。特に、比表面積が大きい混和材を用いる場合には、コンクリート中へ均質に分散させることが重要である。また、上述したように、コンクリートの長期的な耐久性を確保するには、水結合材比も小さく設定する必要がある。このため、本マニュアル（案）では高性能減水剤または高性能 AE 減水剤を用いることを標準とし、作業に適し、かつ型枠内に密実に充填できる性能が確保される範囲内で単位水量をできるだけ少なくすることが極めて重要である。

4. 2 コンクリートの性能の設定

配合設計にあたっては、設計図書に記載されたコンクリートの耐久性や強度に関する特性値を確認し、コンクリートの性能を設定する。

【解説】解説図 4.1 に示したように、配合設計にあたっては、最初にコンクリートに要求される性能を設定する必要がある。設計図書には、構造物の構造性能や耐久性に基づいて設定されたコ

ンクリートの中性化速度係数、塩化物イオンに対する拡散係数、凍結融解試験における相対動弾性係数、収縮ひずみ等の特性値が記載されている。したがって、配合設計にあたっては、まず設計図書に記載された特性値や参考値を確認し、これらに基づいてコンクリートの性能を設定しなければならない。

4. 3 ひび割れ抵抗性の照査

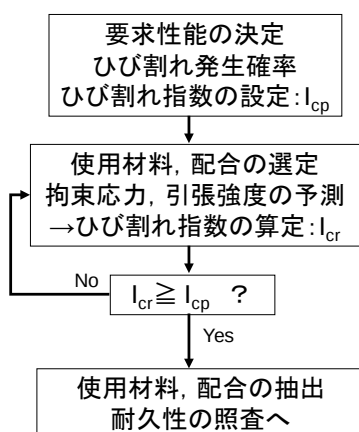
(1) 自己収縮および乾燥収縮に起因して生じるひび割れに対して、ひび割れが発生しないこと、あるいはひび割れ幅が限界値以下であることを確認することにより、当該ひび割れにより構造物の所要の性能は損なわれないと判断するものとする。

(2) ひび割れ発生の有無は、ひび割れ発生確率の限界値から定められるひび割れ指数によって照査するものとする。

(3) ひび割れが発生しないようにする場合、ひび割れ発生確率の限界値は、環境条件、構造物の寸法形状、施工方法、コンクリートの配合を考慮して設定するものとする。

【解説】(1)について 自己収縮や乾燥収縮に起因するひび割れには、コンクリートの配合、環境条件、構造物の寸法形状、材料の力学特性、施工方法など各種要因が相互に関連する。これらの要因を適切に設定して、構造物の所要の性能を損なうひび割れが発生しないことを確認しなければならない。なお、ひび割れの発生を許容することは、構造物における初期ひび割れを無制限に容認するものではない。安全性、使用性、耐久性、美観などの観点を十分に考慮しても問題ないと判断されるような極めて微細なひび割れを許容しないことが、構造物の設計・施工上、非合理的であるとの考え方に立脚するものである。

(2)および(3)について 解説図 4. 3. 1 にひび割れ抵抗性の照査のフローを示す。ひび割れ抵抗性の照査にあたり、最初にひび割れ制御に対する要求性能を設定する必要がある。土木学会コンクリート標準示方書では、一般的な配筋の構造物における標準的なひび割れ抑制の程度とひび割れ発生確率および安全係数の関係として、解説表 4. 3. 1 が参考値として示されている。安全係数はひび割れ指数と読み替えることができるため、一般的にはこの表を参考として要求性能を設定することとなる。しかし、ここに示されたひび割れ発生確率とひび割れ指数は、従来土木学会コンクリート標準示方書で示されているひび割れ発生確率曲線から求められた値であり、本マ

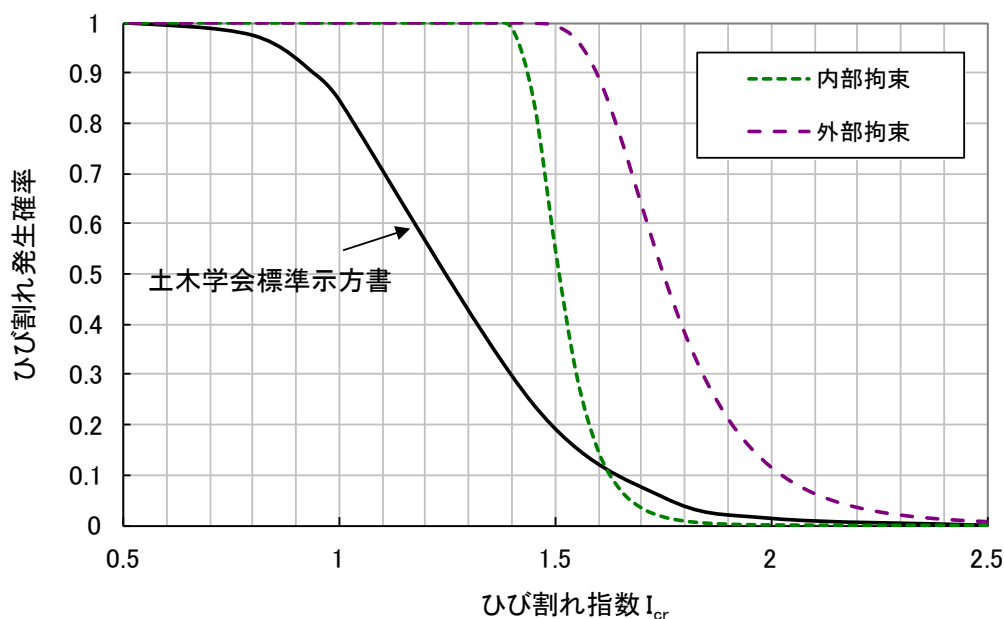


解説図 4. 3. 1 ひび割れ抵抗性の照査フロー

ニュアル（案）で示す低水結合材比領域のコンクリートでは、ひび割れ発生確率曲線の形状が異なるため、そのまま適用してしまうと危険側のひび割れ指数を設定する可能性がある。このため、ひび割れ制御に対する要求性能の設定にあたっては、**解説図 4.3.2** から設定したひび割れ発生確率に対応するひび割れ指数を決定し照査を行う。なお、**解説図 4.3.2** は（独）土木研究所寒地土木研究所で実施した鉄筋拘束によるコンクリートのひび割れ試験と既往の研究成果を整理して作成したものである。この図によると、例えば外部拘束の場合は、**解説表 4.3.2** に示すように、極めて厳しい性能が要求されることになる。

解説表 4.3.1 一般的な配筋の構造物における標準的なひび割れ発生確率と安全係数の参考値

	ひび割れ発生確率	安全係数 γ_{cr}
ひび割れを防止したい場合	5%	1.75以上
ひび割れの発生をできるだけ制御したい場合	25%	1.45以上
ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅が過大とならないように制御したい場合	85%	1.0以上



解説図 4.3.2 ひび割れ指数とひび割れ発生確率

解説表 4.3.2 低水結合材領域のコンクリートのひび割れ発生確率とひび割れ指数

外部拘束の場合	ひび割れ発生確率	ひび割れ指数 I_{cr}
ひび割れを防止したい場合	5%	2.15以上
ひび割れの発生をできるだけ制御したい場合	25%	1.87以上
ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅が過大とならないように制御したい場合	85%	1.62以上

要求性能を設定した後、次のステップでは使用材料や配合を選定するために、拘束応力や引張強度の予測式を用いてひび割れ指数を算定する。拘束応力は式 4.3.1 より予測が可能である。

a. 拘束応力の予測式

$$\sigma_{st}(t) = \int \frac{E(t')}{(1 + \phi(t, t'))} \lambda(t') d\varepsilon_f(t') \quad (\text{式 4.3.1})$$

$$\text{ただし、} \lambda(t') = \frac{d\varepsilon_f(t') - d\varepsilon_{total}(t')}{d\varepsilon_f(t')}$$

ここに、 $\sigma_{st}(t)$ ：材齢 t における収縮拘束応力の予測値 (N/mm²)

t ：コンクリートの材齢 (日)

t' ：自由ひずみ変化が生じた材齢 (日)

$E(t')$ ：材齢 t' におけるヤング係数

$\phi(t, t')$ ：材齢 t' で荷重された材齢 t におけるクリープ係数

$\lambda(t')$ ：材齢 t' における拘束度

$d\varepsilon_f(t')$ ：材齢 t' における自由ひずみの変化率

$d\varepsilon_{total}(t')$ ：材齢 t' における全ひずみ (自由ひずみ－拘束ひずみ) の変化率

また、拘束応力の予測にあたり必要となるクリープひずみは式 4.3.2、拘束ひずみは式 4.3.3、自由収縮ひずみは自己収縮と乾燥収縮の合計であるため、式 4.3.4 および式 4.3.5 より予測が可能である。

b. スペシフィッククリープひずみ

$$C(t, t_0) = k \cdot CR \cdot \log_e(t - t_0 + 1) \quad (\text{式 4.3.2})$$

$$\text{ただし、} CR = (6.8 \cdot x - 0.12 \cdot G - 17.5) \cdot (t_0)^{-0.33} \cdot \left(1 - \frac{h}{100}\right)^{0.36} \cdot (V/S)^{-0.43}$$

ここに、 $C(t, t_0)$ ：スペシフィッククリープひずみ

k ：結合材の影響を表す係数

x ：水結合材比(%)

G ：単位粗骨材量 (kg/m³)

h ：相対湿度 (%) = 60%

V ：体積 (mm³)

S ：外気に接する表面積 (mm²)

V/S ：体積表面積比 (mm)

c. 拘束ひずみ

$$\varepsilon(t) = \frac{\varepsilon_{sh}(t)}{1 + \frac{A_c E_c(t)}{A_s E_s}} \quad (\text{式 4.3.3})$$

ここに、 $\varepsilon_{sh}(t)$: 材齢 t 日における自由収縮ひずみ (自己収縮ひずみと乾燥収縮ひずみの総和)

A_c : コンクリートの純断面積 (9419.2cm²)

$E_c(t)$: 材齢 t 日におけるコンクリートのヤング係数 (N/mm²)

A_s : 鉄筋の断面積 (ϕ 32cm) (580.77cm²)

E_s : 鉄筋のヤング係数 21000 (N/mm²) とした

d. 自己収縮ひずみ

$$\varepsilon'_{as}(t) = \gamma \cdot \lambda \cdot \varepsilon'_{as\infty} \left[1 - \exp\left\{-k_1 \cdot a \cdot (t - t_s)^{k_2 \cdot b}\right\} \right] \quad (\text{式 4.3.4})$$

ここに、 γ : セメントの種類の影響を表す係数 (解説表 4.3.3 に示す値)

λ : 高炉スラグ微粉末の影響を表す係数

・ベースセメントが微粉末化 (比表面積 6400cm²/g 程度) した低熱ポルトランドセメントの場合、

$$\lambda = -2.11 \cdot R_{gypsum} + 1.98 \cdot (S / 1000) - 0.087 \cdot R_{slag} - 0.1 \cdot B + 50.9$$

R_{gypsum} : スラグの SO₃ 量 (%)

S : スラグの比表面積 (cm²/g)

R_{slag} : ベースセメントに対するスラグ置換率 (%)

B : 単位結合材量 (kg/m³)

$\varepsilon'_{as\infty}$: 自己収縮ひずみの最終値 (μ)

$$\varepsilon'_{as\infty} = 3070 \exp\{-7.2(W / B)\}$$

W/B : 水結合材比

a, b : 自己収縮の進行特性を表す係数 (解説表 4.3.4 に示す値)

k_1, k_2 : 自己収縮の進行特性に及ぼす高炉スラグ微粉末の影響に関する係数
(ただし、 $W/B=30\%$)

$$k_1 = 1.61 \cdot R_{gypsum} - 1.37 \cdot (S / 1000) + 0.052 \cdot R_{slag} + 0.11 \cdot B - 55.3$$

$$k_2 = -0.8 \cdot R_{gypsum} + 0.58 \cdot (S / 1000) - 0.006 \cdot R_{slag} - 0.07 \cdot B - 33.6$$

解説表 4.3.3 自己収縮ひずみに及ぼすセメントの種類の影響を表す係数 γ

セメントの種類	OPC	B6	B3	BB
γ の値	1.00	0.60	0.40	0.70

解説表 4.3.4 自己収縮の進行特性を表す係数

W/B(%)	係数 a	係数 b
30	0.30	0.50
40	0.10	0.7 (BBの場合1.5)

e. 乾燥収縮ひずみ

$$\varepsilon_{ds}(t, t_0) = k \cdot t_0^{-0.08} \cdot \left\{ 1 - \left(\frac{h}{100} \right)^3 \right\} \cdot \left(\frac{(t - t_0)}{\alpha + (t - t_0)} \right)^\beta \quad (\text{式 4.3.5})$$

$$k = (11 \cdot W - 1.0 \cdot C - 0.82 \cdot G + 404) \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3$$

ここに、 $\varepsilon_{ds}(t, t_0)$ ：乾燥開始材齢 t_0 における材齢 t 日の収縮ひずみ（ $\times 10^{-6}$ ）

W ：単位水量（ kg/m^3 ）

C ：単位セメント量（ kg/m^3 ）

G ：単位粗骨材量（ kg/m^3 ）

h ：相対湿度（%）（ $40\% \leq h \leq 100\%$ ）

V ：体積（ mm^3 ）

S ：外気に接する表面積（ mm^2 ）

V/S ：体積表面積比（ mm ）（ $V/S \leq 300\text{mm}$ ）

α 、 β ：乾燥収縮ひずみの経時変化に影響を及ぼす係数

一般に、 $\alpha = 0.16 \cdot (V/S)^b$ （ b ：解説表 4.3.5 に示す値）

$\beta = 1.4 \cdot (V/S)^d$ （ d ：解説表 4.3.5 に示す値）

k ：コンクリートの配合に関する係数

γ_1 ：骨材の種類の影響を表す修正係数（天然骨材：1.0）

γ_2 ：セメントの種類の影響を表す修正係数（解説表 4.3.5 に示す値）

γ_3 ：混和材の種類の影響を表す修正係数（解説表 4.3.5 に示す値）

解説表 4.3.5 乾燥収縮ひずみの経時変化に影響を及ぼす諸係数値

水結合材比 W/B(%)	配合	骨材の種類	セメントの種類	混和材の種類	乾燥の進行度 α		乾燥の進行度 β	
		γ_1	γ_2	γ_3	係数a	係数b	係数c	係数d
40	B6	1.0	2.1	1.00	0.16	2.0	1.4	-0.35
	B3	1.0	1.7	1.00	0.16	1.7	1.4	-0.18
	OPC	1.0	1.6	1.00	0.16	1.8	1.4	-0.18
	BB	1.0	1.7	1.00	0.16	2.1	1.4	-0.40
	B6S4(60)	1.0	2.1	0.98	0.16	2.0	1.4	-0.35
	B6S6(40)	1.0	2.1	0.85	0.16	2.0	1.4	-0.35
	B6S6(60)	1.0	2.1	0.95	0.16	2.0	1.4	-0.35
	B6S8(60)	1.0	2.1	0.80	0.16	2.0	1.4	-0.35
30	B6	1.0	1.4	1.00	0.16	2.45	1.4	-0.50
	B3	1.0	1.4	1.00	0.16	1.80	1.4	-0.24
	OPC	1.0	1.1	1.00	0.16	1.80	1.4	-0.22
	B6S4(60)	1.0	1.4	1.00	0.16	1.80	1.4	-0.46
	B6S6(40)	1.0	1.4	0.90	0.16	2.70	1.4	-0.60
	B6S6(60)	1.0	1.4	0.80	0.16	2.45	1.4	-0.50
	B6S8(40)	1.0	1.4	0.90	0.16	2.70	1.4	-0.60
	B6S8(60)	1.0	1.4	0.80	0.16	2.45	1.4	-0.50

引張強度の予測は式 4.3.6、ヤング係数は式 4.3.7、圧縮強度および圧縮強度発現は式 4.3.8 および式 4.3.9 によりそれぞれ予測できる。

f. 引張強度

$$f_{tk} = 0.23 \times f'_{ck}{}^{2/3} \quad (\text{式 4.3.6})$$

ここに、 f_{tk} ：割裂引張強度 (N/mm²)

f'_{ck} ：圧縮強度の特性値 (N/mm²)

g. ヤング係数

$$E_c(t) = k_1 \times k_2 \times 33500 \times (\gamma / 2.4)^2 \times (f_c(t) / 60)^{1/3} \quad (\text{式4.3.7})$$

ここに、 $E_c(t)$ ：コンクリートのヤング係数 (N/mm²)

t ：コンクリートの材齢 (日)

γ ：コンクリートの気乾単位容積質量 (t/m³)

$f_c(t)$ ：コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

k_1, k_2 ：骨材，混和材による係数

h. 圧縮強度

$$f'(28) = 51.9\gamma_c + 23.3\left(\frac{B}{W}\right) - 4.48\gamma_a + 0.11\left(\frac{S_a}{1000}\right) + 0.15R_a - 2.32R_{gyp} - 53.2 \quad (\text{式4.3.8})$$

ここに、 $f'(28)$ ：材齢28日における圧縮強度の予測値 (N/mm²)

γ_c ：セメントの種類の影響を表す係数 (B3=0.8, B6, HP=1.1, その他1.0)

B ：単位結合材量 (kg/m³)

W ：単位水量 (kg/m³)

γ_a ：混和材の種類の影響を表す係数 (高炉スラグ微粉末、シリカフューム=1.0、
フライアッシュ=3.0)

S_a ：混和材の比表面積 (cm²/g)

R_a ：混和材の置換率 (%)

R_{gyp} ：高炉スラグ微粉末に添加されるSO₃量 (%)

i. 圧縮強度発現

$$f(t) = f_{28} \cdot \exp\left\{s \cdot \lambda \left[1 - (28/(t/t_1))^{0.5}\right]\right\} \quad (\text{式4.3.9})$$

ここに、 $f(t)$ ：有効材齢 t 日における圧縮強度 (N/mm²)

f_{28} ：標準養生材齢28日における圧縮強度 (N/mm²)

s ：セメントの種類の影響による係数 (B6=0.55, B3=0.86, OPC=0.22, BB=0.44)

λ ：高炉スラグ微粉末の影響に関する係数

・ ベースセメントがB6の場合、

$$\lambda = 0.63(S/1000) - 0.007R_{slag} - 0.88R_{gypsum} + 1$$

S ：高炉スラグ微粉末の比表面積 (cm²/g)

R_{slag} ：ベースセメントに対する高炉スラグ微粉末の置換率(%)

R_{gypsum} ：高炉スラグ微粉末に添加されるSO₃量(%)

t_1 ：1日

これらの予測式を用いて各使用材料および配合におけるひび割れ指数を選定し、計算により得られたひび割れ指数が要求されるひび割れ指数を上回ることを照査することにより、ひび割れ抵

抗性能を満足する材料あるいは配合領域を抽出するものとする。

なお、ここに示した諸係数値は、種々あるセメントおよび混和材の組み合わせの中の一部であり、他の結合材を用いた場合にはそのまま使用することができない。このため、ここに示した各予測式の諸係数値については、実際に各種試験により確認するか、直接拘束ひび割れ試験を実施してひび割れ指数を確認して照査することを基本とする。

4. 4 耐久性の照査

(1) 構造物は設計耐用期間に亘り所要の性能を確保されるよう、環境作用を考慮して、適切に要求性能を設定する。

(2) 中性化、塩害および凍害によるコンクリートの劣化により構造物の所要の性能が損なわれないことを、適切な方法により照査する。

【解説】(2)について 耐久性の照査は、各予測式により各耐久性に関する特性値を予測し、性能の照査を行う。

a. 中性化に対する抵抗性の照査は、式 4. 4. 1 により中性化速度係数を算出し、得られた中性化速度係数を用いて将来的な中性化深さを算出し、設定された中性化残りを満足するか判定する。

$$a_p = k \cdot a_i \quad (\text{式 4. 4. 1})$$

ここに、 a_p ：中性化速度係数の予測値 (mm/√週)

a_i ：促進中性化試験により決定された中性化速度係数

k ：環境の影響に関する係数（促進中性化試験における炭酸ガス濃度 5%と、実環境（屋外 0.05%、屋内 0.2%）との比率）

$$k_{\text{屋外}} = \sqrt{(0.05/5)} = 0.10$$

$$k_{\text{屋内}} = \sqrt{(0.2/5)} = 0.20$$

中性化速度係数は、中性化の進行とともに変化（小さくなる）することが促進中性化試験により確認されており、JIS A 1153 に準拠して行った試験によると、促進試験 8 週の前後で傾向が変わる。促進試験による 8 週を実際の環境下における炭酸ガス濃度による上記係数を考慮して換算すると、屋外で 15 年、屋内で 3 年に相当する。このため、中性化速度係数の算定は以下の式で算定する。

$$a_1 = -0.51\sqrt{f'(28)} + 4.92 \quad (\text{式 4. 4. 2})$$

$$a_2 = -0.14\sqrt{f'(91)} + 1.42 \quad (\text{式 4. 4. 3})$$

ここに、 a_1 ：屋内 3 年，屋外 15 年までの中性化速度係数 (mm/√週)

a_2 ：屋内 3 年，屋外 15 年以降の中性化速度係数 (mm/√週)

$f'(28)$ ：材齢 28 日における圧縮強度 (N/mm²)

$f'(91)$ ：材齢 91 日における圧縮強度 (N/mm²)

解説表 4. 4. 1 に 100 年後の中性化深さの試算結果を示す。水結合材比を 30%まで低減することにより、低熱ポルトランドセメントや高炉スラグ微粉末を用いた場合でも中性化深さは 5mm 以下であり、中性化に対する抵抗性は何れも高いことがわかる。

解説表 4. 4. 1 100 年後の中性化深さ試算結果

W/B=30%	100年後の中性化深さ試算 (mm)	
	屋外	屋内
B6	0.1	0.1
B3	1.4	1.5
OPC	1.6	2.4
B6S4(60)	4.8	6.3
B6S6(40)	3.0	4.0
B6S6(60)	2.4	3.3
B6S8(40)	0.9	1.2
B6S8(60)	2.3	3.3

※B6:微粉末化した低熱ポルトランドセメント、B3:一般的な低熱ポルトランドセメント、OPC:普通ポルトランドセメント、S4,S6,S8 : 粉末度 4000,6000,8000 クラスの高炉スラグ微粉末（カッコ内数値は置換率）

b. 耐塩害設計を考慮する場合、拡散係数による予測評価が必要となり、拡散係数の予測には式 4. 4. 4～4. 4. 6 を適用する。

$$D_e = a \cdot (W / B)^b \quad (\text{式 4. 4. 4})$$

$$a = 34.6 \cdot \exp(-0.059 \cdot r) \quad (\text{式 4. 4. 5})$$

$$b = -0.017 \cdot r + 4.35 \quad (\text{式 4. 4. 6})$$

ここに、 D_e : 実効拡散係数 ($\text{cm}^2/\text{年}$)

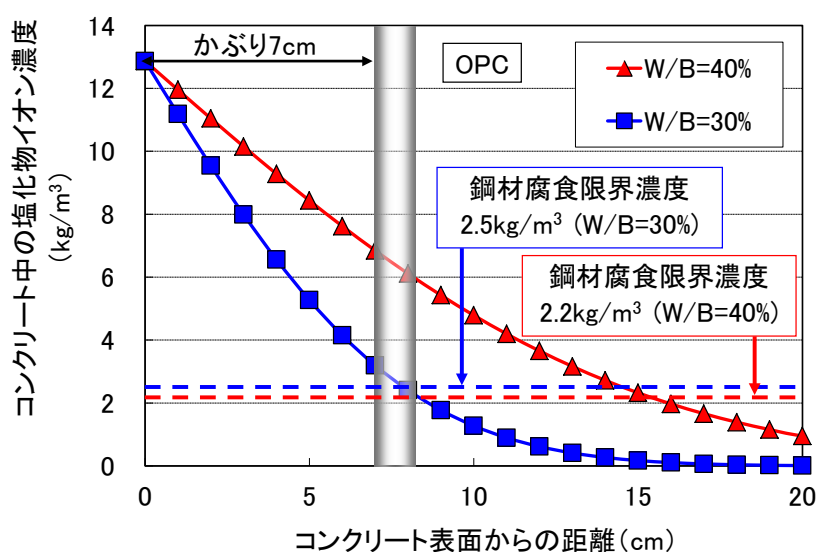
W/B : 水結合材比

r : ベースセメントに対する高炉スラグ微粉末の置換率(%)

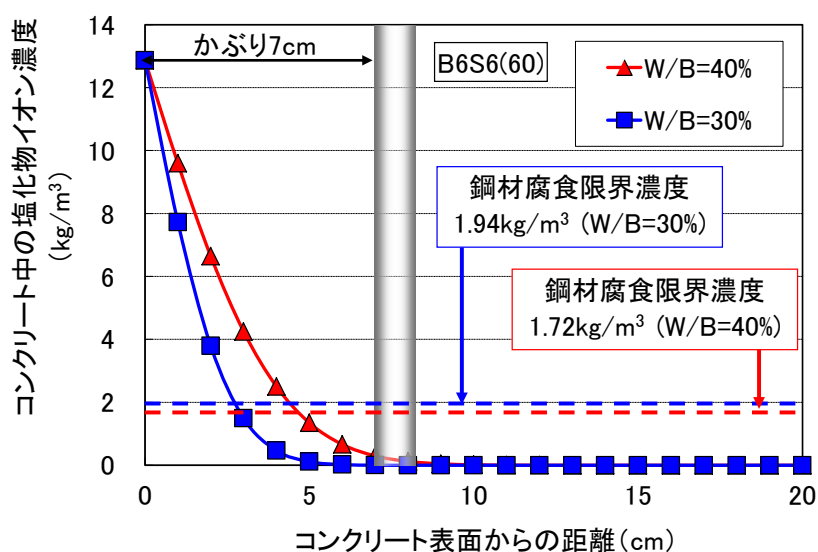
これらの式から、OPC の塩化物イオンの実効拡散係数を算出すると、 $D_e(W/B=0.4)=0.627 (\text{cm}^2/\text{年})$ 、 $D_e(W/B=0.3)=0.184 (\text{cm}^2/\text{年})$ となり、同様に B6S6(60)の塩化物イオンの実効拡散係数を算出すると、 $D_e(W/B=0.4)=0.047 (\text{cm}^2/\text{年})$ 、 $D_e(W/B=30\%)=0.018 (\text{cm}^2/\text{年})$ となる。これらの実効拡散係数を用いて 100 年後の耐塩害性について照査を行う。塩害に対する照査は 2012 年制定コンクリート標準示方書設計編に準拠して行うものとし、ここでは、構造物が汙線付近の厳しい塩害環境を想定し、表面塩分量は $9\text{kg}/\text{m}^3$ 、構造物係数を重要構造物の 1.1 とし、鋼材位置における塩化物イオンのばらつきを考慮した安全係数を 1.3 として試算する。なお、鋼材位置における塩化物イオン濃度の鋼材腐食発生限界濃度は、2012 年制定の示方書で新たに提示された、セメントの種類と水セメント比から算出される値を用いた。

解説図 4. 4. 1 は普通ポルトランドセメント (OPC) を用いた場合の実効拡散係数による予測結果であるが、コンクリートのかぶりを道路橋示方書の塩害対策 S 区分で要求される最小かぶりの 7cm として評価すると、水結合材比を 30%まで低下してもかぶりコンクリートのみでは錆の発生を防止できない結果となり、このような場合にはコンクリート表面の被覆や樹脂塗装鉄筋等と組み合わせで対策を行う必要がある。他方、図 4. 4. 2 は微粉末化した低熱ポルトランドセメントの一部を粉末度 8000 クラスの高炉スラグ微粉末で 60%置換 (B6S8(60)) したコンクリートの将来

予測結果であるが、水結合材比 40%でもかぶりコンクリートのみで塩害を防ぐことが可能となる結果となっている。なお、予測に用いた拡散係数は実効拡散係数であるため見かけの拡散係数への変換が必要である。



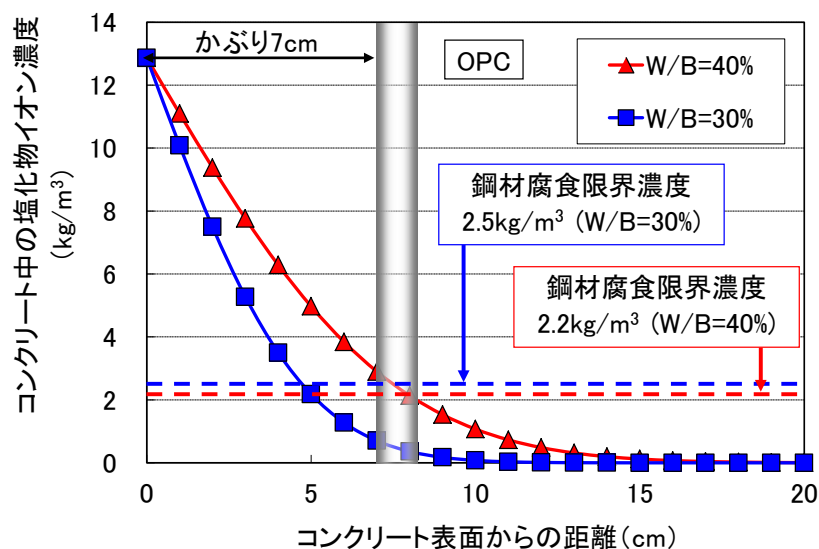
解説図 4. 4. 1 実効拡散係数による 100 年後の塩分浸透予測 (OPC)



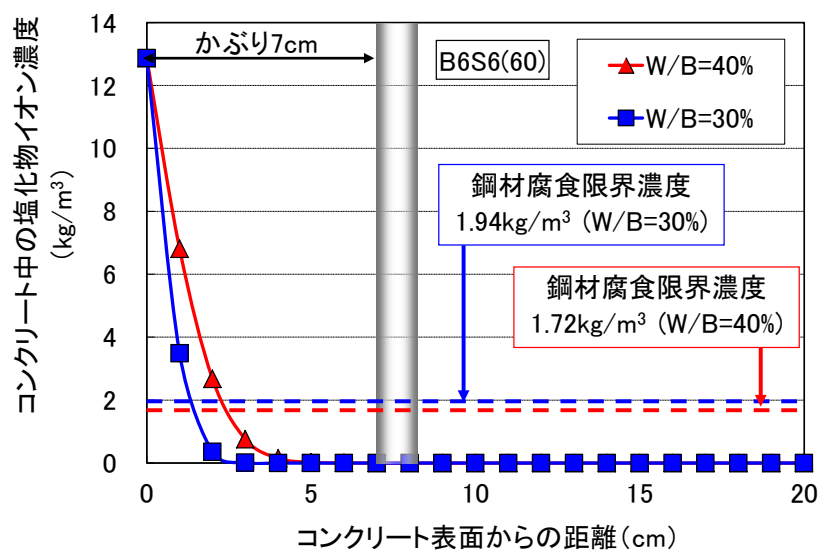
解説図 4. 4. 2 実効拡散係数による 100 年後の塩分浸透予測 (B6S6(60))

実効拡散係数から見かけの拡散係数への変換は、2012 年制定の示方書で新たに提示された、セメントの種類と水セメント比から算出される係数を算出し、これを実効拡散係数に乘じることにより行った。これによると、水セメント比 40%で普通セメントの場合 0.43 程度、高炉セメント B 種の場合 0.27 程度となり、水セメント比 30%で普通セメントの場合には 0.36 程度、高炉セメント B 種の場合 0.23 程度となる。高炉スラグ微粉末を用いた B6S6(60)に高炉セメント B 種の変換係数を適用し、見かけの拡散係数に変換した値を用いて予測すると解説図 4. 4. 3 および解説図 4. 4. 4 となる。

解説図 4. 4. 3 より (OPC) でも水結合材比を 30%程度とすることによりかぶりコンクリートの
みで鋼材の腐食を抑制できる試算結果となった。一方、解説図 4. 4. 4 より B6S6(60)は塩分浸透が
ほとんど無い予測結果となっている。



解説図 4. 4. 3 見かけの拡散係数に変換した場合の 100 年後の塩分浸透予測 (OPC)



解説図 4. 4. 4 見かけの拡散係数に変換した場合の 100 年後の塩分浸透予測 (B6S6 (60))

c. 耐凍害設計を考慮する場合、空気量の設定が必要となるため、式 4.4.7 による耐凍害性の照査が必要となる。

$$DF = a \cdot b^{\exp(-c \cdot AIR)} \quad (\text{式 4.4.7})$$

ここに、DF：耐久性指数

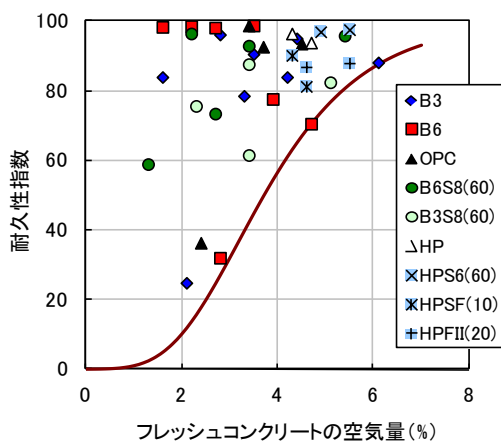
AIR：フレッシュコンクリートの空気量

a：グラフのスケールに関する係数、ここでは耐久性指数の上限値 100 とした

b、c：グラフの形状を決定する係数

ここでは $b=10 \times 10^{-4}$ 、 $c=2.3$

なお、この式から逆算し、耐久性指数 85 を満足する空気量は 5.8%程度となり 6%程度が目安となる。また、耐久性指数 70 では空気量 4.7%以上、耐久性指数 60 では空気量 4.2%以上が目安となる。(解説図 4.4.5)



解説図 4.4.5 フレッシュコンクリートの空気量と耐久性指数の関係

4. 5 強度の照査

ひび割れ抵抗性および耐久性を満足する配合に対して、所要の強度を満足することを適切な方法により照査すること。

【解説】最終ステップとして、強度の照査を行うことになるが、実際にはひび割れ照査の段階や耐凍害性の照査にあたり強度の検討が必要となるため、強度の照査はひび割れ抵抗性や耐久性の照査と並列で行われることとなる。なお、設計基準強度だけでなく、型枠や支保工の取り外し時期の確認や、プレストレスコンクリート構造物における早期の PC 鋼材の緊張作業が必要な場合など、任意の材齢で照査が必要な場合には、結合材の種類、配合、打込み温度、環境温度等を考慮して管理強度を別途設定し、満足していることを確認しなければならない。任意の圧縮強度の予測は式 4.5.1 により材齢 28 日の圧縮強度を予測し、プレストレスコンクリート等で早期の強度発現が必要な場合など強度発現を考慮する場合には、式 4.5.2 により行う。引張強度およびヤング係数は、それぞれ式 4.5.3 と式 4.5.4 により行うことで予測が可能となる。

a. 圧縮強度

$$f'(28) = 51.9\gamma_c + 23.3\left(\frac{B}{W}\right) - 4.48\gamma_a + 0.11\left(\frac{S_a}{1000}\right) + 0.15R_a - 2.32R_{gyp} - 53.2 \quad (\text{式4.5.1})$$

ここに、 $f'(28)$ ：材齢28日における圧縮強度の予測値 (N/mm²)

γ_c ：セメントの種類の影響を表す係数 (B3=0.8、B6、HP=1.1、その他1.0)

B ：単位結合材量 (kg/m³)

W ：単位水量 (kg/m³)

γ_a ：混和材の種類の影響を表す係数 (高炉スラグ微粉末、シリカフェューム=1.0、フライアッシュ=3.0)

S_a ：混和材の比表面積 (cm²/g)

R_a ：混和材の置換率 (%)

R_{gyp} ：高炉スラグ微粉末に添加されるSO₃量 (%)

b. 圧縮強度発現

$$f(t) = f_{28} \cdot \exp\left\{s \cdot \lambda \left[1 - (28/(t/t_1))^{0.5}\right]\right\} \quad (\text{式4.5.2})$$

ここに、 $f(t)$ ：有効材齢 t 日における圧縮強度 (N/mm²)

f_{28} ：標準養生材齢28日における圧縮強度 (N/mm²)

s ：セメントの種類の影響による係数 (B6=0.55, B3=0.86, OPC=0.22, BB=0.44)

λ ：高炉スラグ微粉末の影響に関する係数

・ベースセメントがB6の場合、

$$\lambda = 0.63(S/1000) - 0.007R_{slag} - 0.88R_{gypsum} + 1$$

S ：高炉スラグ微粉末の比表面積 (cm²/g)

R_{slag} ：ベースセメントに対する高炉スラグ微粉末の置換率(%)

R_{gypsum} ：高炉スラグ微粉末に添加されるSO₃量(%)

t_1 ：1日

c. 引張強度

$$f_{tk} = 0.23 \times f'_{ck}{}^{2/3} \quad (\text{式4.5.3})$$

ここに、 f_{tk} ：割裂引張強度 (N/mm²)、 f'_{ck} ：圧縮強度の特性値 (N/mm²)

d. ヤング係数

$$E_c(t) = k_1 \times k_2 \times 33500 \times (\gamma/2.4)^2 \times (f_c(t)/60)^{1/3} \quad (\text{式4.5.4})$$

ここに、 $E_c(t)$ ：コンクリートのヤング係数 (N/mm²)

t ：コンクリートの材齢 (日)

γ ：コンクリートの気乾単位容積質量 (t/m³)

$f_c(t)$ ：コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

k_1, k_2 ：骨材、混和材による係数

4. 6 混和材の置換率

混和材の置換率は、耐久性向上と強度発現性状を考慮して決定することとし、セメントに対して置換する場合には、各混和材を用いた JIS 規格に基づく混合セメント B 種の範囲内とすることを原則とする。

【解説】混和材はコンクリートの各種性能向上に極めて有効な材料であるが、その適切な置換率は混和材の種類によって異なり、置換率が小さすぎるとその効果が顕著には認められない。また、置換率が大きすぎると、材齢初期の強度発現や中性化などの耐久性にも影響する場合があります、養生その他について特に注意すべき事項が多くなる。このため、本マニュアル（案）では、JIS で規定される混合セメント B 種相当の置換率の範囲を標準とし、特に高い耐久性を考慮する場合にはその上限値の採用を標準とする。ただし、シリカフュームの置換率の範囲については、混合セメントとしての JIS 規格が規定されていないため、研究成果や施工実績が多い、5～15%を標準とした。なお、各混和材の設計・施工指針等では、置換率 C 種相当についても適用が認められており、さらにそれを越えて使用した場合についてもいくつか研究が行われている。したがって、その品質および耐久性とともに、十分に信頼できる施工が可能であることが確認される場合については、それを制限するものではない。

4. 7 スランプまたはスランプフロー

改質セメントを用いたコンクリートのワーカビリティは、コンクリートの性状および施工方法に応じてスランプまたはスランプフローを適切に設定しなければならない。

【解説】ワーカビリティの設定にあたっては、打込み位置や箇所、締固め作業高さや内部振動機の挿入間隔、1 回当たりの打込み高さや打上がり速度等の施工方法を十分に検討する必要がある。改質セメントを用いたコンクリートは粘性が高いため、通常のコンクリートよりも流動性を高めた方が施工しやすい傾向にある。(独) 土木研究所寒地土木研究所が橋梁の地覆コンクリートとして試験施工を行った際には、スランプ 10～12cm 程度でポンプ圧送および締固めが良好であったことが確認されている。なお、スランプの設定にあたっては、2012 年制定コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準〕第 4 章配合設計のほか、「施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針（案）」および「コンクリートのポンプ施工指針」を参考にするとよい。また、高流動コンクリートとして施工を検討する場合は、2012 年制定コンクリート標準示方書〔施工編：特殊コンクリート〕第 7 章高流動コンクリートのほか、「高流動コンクリート施工指針」によるものとする。

5章 コンクリートの製造および打込み

5. 1 総 則

(1) 改質セメントを用いたコンクリートの製造にあたっては、所要の性能を有する設備を用いて、材料の貯蔵、計量および練混ぜを行い、所要の品質が得られるようにコンクリートの製造を行わなければならない。

(2) 改質セメントを用いたコンクリートの運搬および打込みにあたっては、あらかじめ十分な計画を立てなければならない。

【解説】(1)について 所要の品質を有する改質セメントを用いたコンクリートを製造するには、ベースセメントや混和材の種類および混和材置換率がコンクリートの品質に与える影響が大きいことを十分に認識することが寛容である。このため、所要の品質を有するコンクリートを製造するためには、設備が所要の性能を有していること、製造方法が適切であること、ならびにコンクリートの品質を安定させる管理能力を有する技術者が品質管理を行うことが重要である。

(2)について 改質セメントを用いたコンクリートでは、ベースセメントや混和材の種類、混和材の置換率、混和剤の種類および添加率により凝結時間が大きく異なること、および打込み時のコンクリート温度が低い場合には、特に初期の強度発現に影響を及ぼすことなどを十分に考慮のうえ、運搬および打込み計画を立てることが寛容である。

5. 2 貯蔵設備

セメントおよび混和材の貯蔵設備は、防湿的な構造を有すると共に、セメントおよび混和材を種類別に貯蔵できるものでなければならない。

【解説】セメントおよび混和材は、いずれも防湿的な構造を有する設備で貯蔵する必要がある、一般的にはサイロを用いて貯蔵している。サイロは、一日あたりの平均使用量に対して3倍以上の容量を有することが望ましい。また、サイロは、底部にセメントや混和材がたまって流れでない部分ができない構造であるとともに、アーチの形成を防止し、流出を容易にするための工夫がなされているものが望ましい。

セメントおよび混和材の貯蔵には、それぞれ専用の設備を使用することが望ましい。しかし、コンクリートを製造する工場によっては、複数のサイロを保有していない、あるいは一般のコンクリートを並行して製造する必要がある場合にはサイロに十分な空きが無い場合も考えられる。このような場合には、一つのセメントサイロを仕切板により分割して使用することも可能であるが、その場合には、仕切板が片荷になっても耐えられる構造であるとともに、仕切板とサイロ内面との隙間や仕切板の腐食穴から異種のセメントや混和材が混ざり合わないようにならなければならない。また、セメント工場において、あらかじめベースセメントと混和材をブレンドし一つの混合セメントとして管理する方法も考えられるが、この場合にはベースセメントと混和材が十分

に混合されるように管理するとともに、セメント工場、コンクリート製造工場と十分に協議を行う必要がある。

5. 3 計量

(1) セメントおよび混和材の計量は、所要の品質を有するコンクリートが得られるよう、材料の管理状態、コンクリートの温度、スランプの保持時間等を勘案して修正された配合をもとに行わなければならない。

(2) セメントおよび混和材は、1 バッチ分ずつ質量で計量することを原則とし、その計量誤差は、1 回計量分に対して 1%以下でなければならない。

【解説】(1) および (2) について 改質セメントを用いたコンクリートを製造するうえで、各材料の計量を正確に行うことは、重要事項の一つである。特に、セメントおよび混和材は、コンクリートの品質に特に敏感に影響を与える材料であるため、計量誤差が大きい場合には、所定の品質のコンクリートが得られないばかりか、このコンクリートを用いた構造物の要求性能が達せられなくなる恐れもある。したがって、セメントおよび混和材の計量には、原則として専用の設備を用いることとした。

なお、2012 年制定コンクリート標準示方書〔施工編〕（土木学会）によると、混和材の計量誤差の最大値は 2%であり、高炉スラグ微粉末の場合のみ計量誤差の最大値は 1%とされているが、本マニュアル（案）では、混和材の置換率がコンクリートの性能に及ぼす影響が極めて大きいため、高炉スラグ微粉末以外の混和材についても、その計量誤差の最大値を 1%とした。

5. 4 練混ぜ

(1) コンクリートの材料は、練上がりコンクリートが均質になるまで、十分に練り混ぜなければならない。

(2) 材料をミキサに投入する順序は、あらかじめ検討して定めておかななければならない。

(3) 練り混ぜ時間は、試験によって定めることを原則とする。

【解説】(1)、(2) および (3) について 均質なコンクリートを得るためには、練混ぜ性能の優れたミキサを用いて適切な材料の投入順序と練混ぜ時間で十分に練り混ぜることが必要である。特に混和材は微粉末かつセメントに対する置換割合も高いため、適切な混和剤を選定し十分に練り混ぜなければならない。特に、コンクリート中にセメントと混和材を均等に分散させるためには、セメントと混和材の投入口を近くに設けるとともに、セメントと同時あるいはセメントに引き続いて直ちにミキサへ投入するのが良い。また、十分な練り混ぜを行うために必要な時間は、ミキサの形式によって異なるほか、ミキサの容量、コンクリートの配合、混和材の種類および置換率、混和剤の分散性能、投入順序等によっても相違するため、JIS A 1119 その他による試験結果から練り混ぜ時間を定めるのを原則とする。

一般に、JIS A 1119 によるモルタルの単位容積質量差が 0.8%以下で、かつ単位粗骨材量の差が 5%以下である場合には、均質に練混ぜが行われたものと考えて良い。試験によらない場合に

は、実績を参考にして定めるのがよい。なお、材料の攪拌性能を考慮して強制練りミキサの使用を標準とし、その場合の練り混ぜ最小時間は1分を標準とする。

5. 5 運搬および打込み

(1) コンクリートは、練り混ぜた後速やかに運搬し、直ちに打ち込み、十分に締め固めなければならない。

(2) コンクリートの打込みは、コールドジョイントができないように、適切な施工計画に基づいて行わなければならない。

【解説】(1)について 現場内でのコンクリートの運搬には、一般のコンクリート同様に行うことができる。ただし、改質セメントを用いたコンクリートは、一般のコンクリートと比べて粘性が高くなるため、ポンプ圧送を行う場合には管内抵抗が大きくなり、必要とする吐出量や圧送距離での圧送が困難であることや、圧送に伴うコンクリートの変質変化が大きくなることが考えられる。このため、適切な施工性が可能となるワーカビリティを設定するとともに、適切な運搬設備を選定することが重要である。なお、運搬設備は、2012年制定コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準〕第7章に定められているもので、コンクリートの性状や品質変化等を考慮して選定するのがよい。

(2)について 改質セメントを用いたコンクリートは、高性能(AE)減水剤の使用を標準としているため、その種類や使用量によって、スランプの保持状態や凝結時間が変化する場合がある。また、スランプの保持状態や凝結時間は、コンクリートの配合、仕様材料、温度、湿度、運搬方法等によっても変化するため、これらの条件を考慮した上で適切な施工計画を立案し、それに基づいて打込みおよび締め固めを行わなければならない。なお、練混ぜから打終わりまでの時間は、外気温が25℃以下のときで2.0時間以内、25℃を超えるとときで1.5時間以内を標準とする。また、コンクリートの2層以上に分けて打込む場合、既に打込んだ層と新たに打込む層が一体化となるように施工する必要があるため、許容打重ね時間間隔は外気温が25℃以下の時で2.5時間、25℃を超えるとときで2.0時間以内を標準とする。

6章 養生

6. 1 総 則

改質セメントを用いたコンクリートは、施工環境条件を考慮し、打ち込み後の一定期間は硬化に必要な温度および湿度を保ち、有害な作用の影響を受けない方法を定め、コンクリートが所要の品質を確保出来るように実施しなければならない。

【解説】改質セメント、特に混和材を用いたコンクリートは、一般のコンクリートよりも、材齢初期の温度および湿潤養生の良否がコンクリートの品質に大きな影響を与えるため、養生に対する十分な配慮が必要である。初期に乾燥を受けると、その後湿潤状態を保っても、一般のコンクリートに比べて、強度発現が悪くなるだけでなく、長期強度、ひび割れ抵抗性および耐久性の低下にもつながるので注意を要する。

また、混和剤を用いたコンクリートの強度発現は、打込み時のコンクリート温度および養生温度の影響を非常に受けやすく、低温時には強度発現が悪くなる。特に、低温時にスラブ、壁などの薄い部材を施工する場合には、これらの点に注意を払って養生計画を立て、コンクリートが所要の品質を確保できるように、適切な養生温度を確保することが重要である。

6. 2 湿潤養生

- (1) コンクリートは、打ち込み後、硬化を始めるまで、日光の直射、風などによる水分の逸散を防がなければならない。
- (2) コンクリートの露出面は、表面を荒らさないで作業ができる程度に硬化した後に、養生用マット、布等をぬらしたもので覆うか、または散水、湛水を行い、湿潤状態に保たなければならない。湿潤状態に保つ養生期間は、表 6. 2. 1 を標準とする。

表 6. 2. 1 湿潤養生期間の標準

日平均気温	改質セメント
15℃以上	7 日
10℃以上	9 日
5℃以上	12 日

【解説】(1) について 粉末度が大きい結合材を用いた場合、材齢初期における自己収縮が大きくなり、プラスチック収縮ひび割れが発生しやすくなる。このため、コンクリート表面部の水分の逸散を防ぐばかりではなく、積極的な湿潤養生を行うことが望ましい。また、養生期間中は、型枠に接している面に対しても、水分の逸散を少なくするため、シートなどで日よけや風よけを設けておくことが望ましい。さらに、型枠が薄いか、または気温が高くて型枠が乾燥するおそれ

のある場合には、型枠にも散水して湿潤状態にしておかなければならない。

(2) について コンクリートの力学的性能、耐久性、およびその他の性能等の品質を高めるためには、できるだけ長く湿潤状態に保つのがよい。これはコンクリートの水和を促進させ十分硬化させることと、硬化中の乾燥による収縮をできるだけ小さくするためである。しかし、湿潤養生の効果の大部分は材齢初期の養生期に限られている。改質セメントを用いたコンクリートは、前述のとおり、養生温度および湿潤養生条件がその品質に大きな影響を与える。他方、ベースセメントおよび混和材の種類により、要求性能を確保するための養生条件は異なると考えられるが、ここでは長期的な耐久性を考慮し、いずれの結合材を用いた場合でも、現在混合セメント B 種の標準となっている表 6.2.1 の湿潤養生期間を標準とすることとした。なお、構造物の種類、位置、構造物がさらされる気象・使用条件、工事の時期・期間、施工方法により、実際には必要とされる養生期間も異なることから、それらの条件を考慮し、耐久性の確保が可能であることを試験によって確認することにより養生期間を決めてもよい。

6. 3 温度制御養生

(1) コンクリートは、十分に硬化が進むまで、硬化に必要な温度条件に保ち、低温、高温、急激な温度変化等による有害な影響を受けないように、必要に応じて温度制御養生をしなければならない。

(2) コンクリートの種類、構造物の形状、寸法、施工方法および環境条件をもとに、温度制御方法、養生期間およびその管理方法を定めなければならない。

【解説】セメントの水和反応は、養生時のコンクリート温度によっても著しい影響を受ける。特別な場合を除き、コンクリートの温度は、練り混ぜ時から外気温の影響を受け、特にコンクリートの表面や壁、スラブ等の薄い部材では外気温の影響を受けやすい。養生温度および圧縮強度の関係は、積算温度または有効材齢の概念で表すことができ、養生温度が低い場合には、要求性能を満足するための養生期間は長く、逆に養生温度が高い場合は短くなる。ただし、セメントの種類や混和材の種類によっても養生温度の影響の程度が異なり、フライアッシュや高炉スラグ微粉末を用いる場合、特に低温時には養生期間を長くすることが必要である。また、高炉スラグ微粉末の水和反応は温度依存性が高く、部材寸法、型枠の断熱性等によって部材内の温度履歴や強度発現性が大きく異なる場合があるため、注意が必要である。

外気温が著しく低い場合には、セメントの水和反応が阻害され、強度発現が遅れたり、初期凍害を受けるおそれがあるので、必要な温度条件を保つために、吸熱または保温による温度制御を所要期間行う必要がある。日平均気温が 4℃以下になる場合には、寒中コンクリートとして扱う必要があり、その場合に必要となる養生期間の目安として、混合セメント B 種に準じることを標準とする。なお、ヒーターマット、ジェットヒータ等により給熱養生を行う場合には、コンクリート表面が乾燥しやすく、ひび割れを生じることもあるため、加湿装置などにより湿潤状態を保つ必要がある。

外気温が著しく高い場合、初期の強度は高くなるが、長期的な強度の増進、耐久性や水密性に関する特性が低下する場合がある。また、コンクリートの表面が乾燥しないようにする必要がある。日平均気温が 25℃を超える場合には、暑中コンクリートして取り扱う必要がある。

部材寸法が大きく水和反応による発熱で温度上昇が大きくなる場合や部材内の温度差が大きくなることが予想される場合は、温度応力によるひび割れ発生が懸念されるため、表面保温やパイプクーリング等によりコンクリートの温度や温度差を制御する必要がある。

なお、寒中コンクリートおよび暑中コンクリートについては、2012 年制定コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準〕12 章および13 章を参照すること。

6. 4 有害な作用に対する保護

コンクリートは、養生期間中に予想される振動、衝撃、荷重、凍結、海水などの有害な作用から保護しなければならない。

【解説】まだ十分に硬化していないコンクリートは、衝撃や過大な荷重、振動などによって、ひび割れなどの損傷を受けやすいのでその上に材料等を置いたり、重量物を落下させたりしないようにすることが必要である。有害な作用には、このほかにも打込み作業中の降雨、養生用水の水質、給熱養生用ヒータの過熱、海水などが挙げられる。若材齢のコンクリートの性質を良く理解したうえで、これらの有害な作用が生じないようにするか、それらの影響を受けないように保護する必要がある。

7 章 工場製品

7. 1 適用の範囲

この章は、工場製品用のコンクリートに改質セメントを用いる場合において、特に必要な事項についての一般の標準を示すものである。

【解説】本章は、製造工程が一貫して管理されている工場で、改質セメントを使用し、コンクリート工場製品を製造する場合における標準を示すものである。したがって、無筋および鉄筋コンクリート工場製品のほか、プレストレストコンクリート工場製品も含まれる。なお、工事現場近くのヤードで製造される製品等については適用されない。

7. 2 一般

コンクリート工場製品に改質セメントを用いる場合には、工場製品に関する十分な知識を有する専門技術者の指導のもと、その性能が十分に発揮できるように、材料、配合、練混ぜ、締固め、養生等において特に注意して製造しなければならない。

【解説】一般に工場製品では、水セメント（結合材）比が小さいコンクリートを使用する場合が多い。また、締固め条件もそれぞれの工場製品の製造方法によって相違し、さらに蒸気養生などの促進養生を行う場合が多く、一般のコンクリートと比較すると製造方法も異なる。このため、それぞれの製品や製造方法を考慮し、コンクリートの配合を適切に決定する必要がある。

7. 3 コンクリートの品質

(1) 工場製品に用いるコンクリートは、所要の強度および耐久性等を有し、品質のバラツキの少ないものでなければならない。

(2) 改質セメントを用いた工場製品におけるコンクリートの強度は、材齢 14 日における圧縮強度の試験値を標準とする。

【解説】(1) について 改質セメントを用いたコンクリートは、ベースセメントの種類、混和材の種類および置換率、水結合材比、養生条件等により強度発現や耐久性等の品質が異なる。改質セメントを工場製品に用いる主な目的は耐久性能向上にあることから、種々の結合材の特性を十分に把握しておくことが必要である。

(2) について 一般に工場製品では、強度の早期発現や高強度化を目的として、水セメント（結合材）比の小さいコンクリートを用いて促進養生を行うことが多い。改質セメントを用いる主な目的は耐久性の向上であり、そのためには水結合材比を低くする必要があることから強度も高くなる。したがって、改質セメントを用いたコンクリートの場合も従来と同様に、その圧縮強度は

材齢 14 日の試験値を用いることを標準とした。

なお、オートクレーブ養生等の特殊な促進養生を行う工場製品では、早期に強度を発現させ、材齢の進行に伴うコンクリート強度の増加をほとんど期待しない。このような場合は、強度の管理材齢は例えば 7 日のように、材齢 14 日以前の試験値を標準としてもよい。

7. 4 製造

コンクリートの製造は、製品の成形方法も考慮して、適切な方法で製造しなければならない。

【解説】工場製品に使用するコンクリートの特徴としては、スランプが比較的小さい硬練りのコンクリートを使用することが多い。特に、最近ではゼロスランプのコンクリートを加圧振動して締固めを行い、即時脱型する製品も少なくない。他方、混和材を用いたコンクリートは粘性が高いことから、高流動化して流し込みにより製造する場合もある。高流動化して流し込みにより製造する場合には、本マニュアル（案）に示した方法により配合を決定しコンクリートを製造しても、本来期待された性能が得られることが確認されている。しかし、加圧振動して製造する即時脱型する製品用のコンクリートの製造については、一般のコンクリート製品よりは耐久性が向上するものの、改質セメントとして本来期待されている効果が必ずしも発揮されていない結果が得られている。このため、加圧振動して製造する製品用のコンクリートの製造については、試験練りを実施し、強度や耐久性等を実際に確認した上で行うこととする。

7. 5 成形

成形は、所要の品質の工場製品が得られるように、適切な締固め方法によって行われなければならない。

【解説】コンクリート工場製品の締固め方法を大別すると、振動締固め、遠心力締固め、加圧締固め等がある。7.4 で述べたように、工場製品では、その種類、配合、練混ぜ、成形等が互いに密接な関連を持っている。したがって、それぞれの製品のコンクリートの成形には、その製造方法に応じた適切な機械的締固めの方法を選び、それを確実に実施することが大切である。

【参考となる指針・マニュアル一覧】

- (1) 2012 年制定コンクリート標準示方書 [設計編]、土木学会、2013
- (2) 2012 年制定コンクリート標準示方書 [施工編]、土木学会、2013
- (3) 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計施工指針 (案)、コンクリートライブラリー第 63 号、土木学会、1988
- (4) 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針、コンクリートライブラリー86、土木学会、1996
- (5) シリカフェームを用いたコンクリートの設計・施工指針 (案)、コンクリートライブラリー80、土木学会、1995
- (6) フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針 (案)、コンクリートライブラリー94、土木学会、1999
- (7) 施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針 (案)、コンクリートライブラリー126、土木学会、2007
- (8) コンクリートのポンプ施工指針[平成 12 年版]、コンクリートライブラリー100、土木学会、2000
- (9) コンクリートのポンプ施工指針 2012 年版、コンクリートライブラリー135、土木学会、2012
- (10) 高流動コンクリートの施工指針、コンクリートライブラリー93、土木学会、1998
- (11) 高流動コンクリートの配合設計・施工指針 2012 年版、コンクリートライブラリー136、土木学会、2012

【改質セメントを用いたコンクリートの関連論文】

- 1) 堺孝司、熊谷守晃、若杉伸一、下林清一：ビーライトセメントの改質によるコンクリートの高性能化、土木学会論文集 No.620/V-43、pp55-70、1999 年 5 月
- 2) 嶋田久俊、熊谷守晃、堺孝司：ビーライト系セメント用いたコンクリートの強度・発熱特性、土木学会第 54 回年次学術講演会講演概要集 第 5 部、pp202-203、1999 年 9 月
- 3) 吉田行、堺孝司、熊谷守晃：改質ビーライト系セメントを用いたコンクリートの凍結融解抵抗性、コンクリート工学年次論文集、第 22 巻 No.1、pp.79-84、2000 年 6 月
- 4) K.SAKAI, M.KUMAGAI, S.YOSHIDA, S.WAKASUGI: Freeze-Thaw Resistance of Modified Belite-Based Cement Concrete, Third International Conference on Concrete Under Severe Conditions, Vol.1, pp.1546-1553, 2001.6
- 5) 吉田行、田口史雄、嶋田久俊：改質ビーライト系セメントを用いたコンクリートの強度・発熱特性および凍結融解抵抗性、北海道開発土木研究所月報、No.578、pp.4-13、2001 年 8 月
- 6) 吉田行、田口史雄、渡辺宏：粒度を改質したビーライト系セメントを用いたコンクリートの塩分浸透性、平成 13 年度土木学会北海道支部論文報告集、第 58 号、V-24、pp.836-839、2002 年 1 月
- 7) 吉田行、田口史雄、渡辺宏：高炉スラグ微粉末を用いた改質ビーライト系セメントコンクリートの塩分浸透性、コンクリート工学年次論文集、第 24 巻 No.1、pp.639-644、2002 年 6 月
- 8) 堺孝司、熊谷守晃、吉田行、若杉伸一：ビーライト系セメントを用いたコンクリートの凍結融解抵抗性、土木学会論文集 No.718/V-57、pp.33-44、2002 年 11 月

- 9) 吉田行、田口史雄、名和豊春、渡辺宏：高炉スラグ微粉末を用いた改質ビーライト系セメントコンクリートの凍結融解抵抗性、土木学会第 58 回年次学術講演概要集、V-162、pp.323-324、2003 年 9 月
- 10) 吉田行、田口史雄、名和豊春、渡辺宏：高炉スラグ微粉末を用いた改質ビーライト系セメントコンクリートの中性化、平成 15 年度土木学会北海道支部論文報告集、第 60 号、V-28、pp.766-767、2004 年 1 月
- 11) 堺孝司、熊谷守晃、吉田行、渡辺宏、下林清一：改質ビーライト系セメントコンクリートの長期強度発現とそのメカニズム、土木学会論文集 No.753/V-62、pp.1-11、2004 年 2 月
- 12) 吉田行、田口史雄、名和豊春、渡辺宏：高炉スラグ微粉末を用いた改質ビーライト系セメントコンクリートの塩分浸透性に及ぼす諸要因の影響、コンクリート工学年次論文集、第 26 巻 No.1、pp.777-782、2004 年 7 月
- 13) 吉田行、田口史雄、名和豊春、渡辺宏：改質ビーライト系セメントおよび高炉スラグ微粉末を用いた高流動コンクリートの凍結融解抵抗性、平成 16 年度土木学会北海道支部論文報告集、第 61 号、V-4、2005 年 2 月
- 14) 吉田行、田口史雄、名和豊春、渡辺宏：改質ビーライト系セメントおよび高炉スラグ微粉末を用いた高流動コンクリートの諸性状、コンクリート工学年次論文集、第 27 巻、pp.1051-1056、2005 年 6 月
- 15) 吉田行、田口史雄、嶋田久俊：ビーライト系セメントおよび高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの塩害と中性化に対する抵抗性、寒地土木研究所月報、No.637、pp.17-25、2006 年 6 月
- 16) 吉田行、田口史雄、名和豊春、渡辺宏：各種結合材を用いたコンクリートのスケール抵抗性、土木学会第 61 回年次学術講演概要集、5-391、pp.779-780、2006 年 9 月
- 17) 吉田行、田口史雄、嶋田久俊：ビーライト系セメントおよび高炉スラグ微粉末を用いた高流動コンクリートの物性および耐久性、寒地土木研究所月報、No.640、pp.2-9、2006 年 9 月
- 18) 吉田行、田口史雄、名和豊春、渡辺宏：各種混和材を用いたコンクリートの P C 構造物への適用について、平成 18 年度土木学会北海道支部論文報告集、第 63 号、E-21、2007 年 2 月
- 19) 吉田行、田口史雄、嶋田久俊：改良セメントによる高耐久コンクリートの適用性について、第 50 回（平成 18 年度）北海道開発局技術研究発表会、コー8、2007 年 2 月
- 20) 吉田行、田口史雄、名和豊春、渡辺宏：高炉スラグ微粉末を用いたビーライトセメントコンクリートの耐硫酸性、コンクリート工学年次論文集、第 29 巻 1 号、pp.291-296、2007 年 7 月
- 21) S.YOSHIDA, F.TAGUCHI, H.SHIMADA : IMPROVEMENT OF DURABILITY OF CONCRETE USING MODIFIED CEMENT AND ADMIXTURES, 第 6 回日中冬期道路ワークショップ、2007 年 8 月
- 22) 吉田行、田口史雄、名和豊春、渡辺宏：各種結合材を用いたコンクリートの凍結融解抵抗性、土木学会第 62 回年次学術講演概要集、5-581、pp.1161-1162、2007 年 9 月
- 23) 吉田行、名和豊春、田口史雄、渡辺宏：高炉スラグ微粉末を用いたビーライトセメントコンクリートの中性化に及ぼす細孔組織の影響、土木学会論文集 E、Vol.64、No.1、pp.1-15、2008 年 1 月
- 24) 吉田行、田口史雄、名和豊春、渡辺宏：蒸気養生した各種結合材を用いたコンクリートの諸

- 特性、プレキャストコンクリート製品の課題と展望に関するシンポジウム、pp.81-86、2008年2月
- 25) 吉田行、田口史雄、嶋田久俊：早強ポルトランドセメントと各種混和材を用いたコンクリートの物性と耐久性、寒地土木研究所月報、No.659、pp.2-8、2008年4月
 - 26) 吉田行、田口史雄、名和豊春、渡辺宏：各種混和材を用いたコンクリートのPC構造物への適用性と耐久性向上効果について、コンクリート工学年次論文集、第30巻1号、pp.123-128、2008年7月
 - 27) 吉田行、田口史雄、名和豊春、渡辺宏：各種混和材を用いたコンクリートの強度発現に及ぼす養生温度の影響、土木学会第63回年次学術講演概要集、5-241、pp.481-482、2008年9月
 - 28) S. Yoshida, T. Nawa, F. Taguchi, H. Watanabe : Applicability of Concrete Using Different Admixtures to PC Structures and their Effects on Improving Durability, 7th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures, pp.1030-1037, 2010年5月
 - 29) S. Yoshida, T. Nawa, F. Taguchi, H. Watanabe : Sulfuric Acid Resistance of Belite-based Cement Concrete Mixed with Ground Granulated Blast-furnace Slag, Sixth International Conference on Concrete under Severe Conditions Environment & Loading, pp.897-904, 2010年6月
 - 30) 吉田行、名和豊春、田口史雄、渡辺宏：低熱セメントと高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの圧縮強度特性とその予測について、コンクリート工学年次論文集 Vol.32, No.1, pp.275-280, 2010年7月
 - 31) 齋藤秀和、木之下光男、吉田行、渡辺宏：早強セメントと高炉スラグ微粉末に収縮低減剤を適用した耐久性向上コンクリートの性質、土木学会第65回年次学術講演概要集、V-149、pp.297-298、2010年9月
 - 32) 吉田行、田口史雄、尾形寿、村中智幸、小倉東、佐竹比呂志：高炉スラグ微粉末を用いたコンクリート工場製品の実環境下での性能評価について、寒地土木研究所月報、No.690、pp.2-14、2010年11月
 - 33) 吉田行、宮本修司、山本典隆：改質セメントを用いた皿形側溝製品の現地耐久性追跡試験について、第54回（平成22年度）北海道開発技術研究発表会、2011年2月
 - 34) 吉田行、名和豊春、田口史雄、小倉東：低熱セメントと高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの自己収縮とその予測について、コンクリート工学年次論文集 Vol.33, No.1, pp.539-544、2011年7月
 - 35) S. Yoshida, T. Nawa, F. Taguchi, T. Ogura : Characteristics and Prediction of Autogenous Shrinkage in Concrete Made with Low-Heat Cement and GGBS, International Conference on Numerical Modeling Strategies for Sustainable Concrete Structures (SSCS 2012) Proceeding, I-7-Yoshida_FP_386, 2012
 - 36) 渡辺淳、吉田行、山本佳宏：改質セメントを用いた皿形側溝製品の現地耐久性追跡試験について一実環境下における敷設5年後の追跡調査一、第57回（平成25年度）北海道開発技術研究発表会、2014年2月

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）

発行日：平成 26 年 11 月 初版

発 行：独立行政法人土木研究所 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

札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1 番 34 号

011-841-1719（耐寒材料チーム 直通）