

混和材を用いたプレストレストコンクリート橋の設計・施工マニュアル（案）の概要

鈴木 雅博*1・國富 康志*2・天谷 公彦*3・中村 英佑*4

プレストレストコンクリート橋の耐久性向上と環境負荷低減を目的として、早強ポルトランドセメントの一部を高炉スラグ微粉末やフライアッシュで置換したコンクリートの積極的な活用が望まれているが、早強ポルトランドセメントの一部を混和材で置換したコンクリートの特性は十分には明確にされておらず、実用化を進める際の課題となっていた。そこで、(国研)土木研究所と(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会は、「低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究委員会(平成23～27年度)」を設置し、実験や解析などで得られた知見を参考として、混和材を用いたプレストレストコンクリート橋の設計および施工の標準的な方法を示した「混和材を用いたプレストレストコンクリート橋の設計・施工マニュアル(案)」を発刊した。本稿では、マニュアル(案)の概要を解説する。

キーワード：混和材、プレストレストコンクリート橋、設計・施工マニュアル、耐久性向上、環境負荷低減

1. はじめに

プレストレストコンクリート橋(以降、PC橋と呼ぶ)の耐久性向上による長寿命化と建設時の環境負荷低減を目的として、早強ポルトランドセメントの一部を高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの混和材で置換したコンクリートの積極的な活用が注目されている。混和材の使用は、塩化物イオン浸透に対する抵抗性の向上やアルカリシリカ反応の抑制などによって耐久性の向上に寄与し、PC橋の長寿命化とライフサイクルコストの低減にもつながる。また、PC橋の建設時に発生する二酸化炭素排出量の試算例¹⁾によると、二酸化炭素排出量の約40%がコンクリート関連部門に起因するもので占められることが報告されている。産業副産物である混和材は早強ポルトランドセメントよりも製造時の二酸化炭素排出量が非常に小さいため²⁾、早強ポルトランドセメントの一部を混和材で置換することによって、PC橋の建設に伴って発生する二酸化炭素排出量を削減することが期待できる。しかしながら、早強ポルトランドセメントの一部を混和材で置換したコンクリートの特性は十分には明確にされておらず、実用化を進める際の課題となっていた。

これらのことを背景として、(国研)土木研究所と(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会は、「低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究委員会(平成23～27年度)」を設置し、混和材を用いたプレストレストコンクリート橋の設計・施工方法について検討した。具体的には、早強ポルトランドセメントの一部を混和材で置換したコンクリートをPC橋に適用するために必要となるクリープ係数や乾燥収縮ひずみなどの設計値、耐久

性や温度ひび割れ抵抗性の検討方法、施工時に留意すべき事項などを実験や解析によって検討した。また、混和材の使用による二酸化炭素排出削減効果を定量的に評価するための試算方法についても検討した。これらの検討によって得られた知見に基づき、「混和材を用いたプレストレストコンクリート橋の設計・施工マニュアル(案)」³⁾(以降、マニュアル(案)と呼ぶ)をとりまとめた。本稿では、マニュアル(案)の概要を解説する。

2. マニュアル(案)の概要

2.1 マニュアル(案)の適用範囲と構成

マニュアル(案)は、混和材を用いたコンクリート構造物の設計および施工の原則と配慮することが望ましい事項を示した「低炭素型セメント結合材を用いたコンクリート構造物の設計・施工ガイドライン(案)」⁴⁾を参考とし、早強ポルトランドセメントの一部を混和材で置換したコンクリートをPC橋に適用する際の設計および施工の標準的な方法を示したものである。また、マニュアル(案)には、検討の過程で実施した実験や解析の結果を示した「付録資料」が付属している。

マニュアル(案)では、設計基準強度30～80 N/mm²の現場打ちPC橋に混和材を用いたコンクリートを適用することを想定した。マニュアル(案)で取扱う結合材は、早強ポルトランドセメントと混和材とし、表-1に示す組合せを標準とした。混和材の置換率は、PC橋では比較的初期の材齢でプレストレス力を導入することが多いため、施工実績なども参考として、初期材齢で十分な強度発現を確保できるように高炉スラグ微粉末4000で30%、高炉スラグ微粉末6000で50%、フライアッシュⅡ種で20

*1 Masahiro SUZUKI：(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会

*2 Yasushi KUNITOMI：(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会

*3 Kimihiko AMAYA：(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会

*4 Eisuke NAKAMURA：(国研)土木研究所

表 - 1 標準とした結合材の組合せ

セメントの種類	混和材の種類	混和材の置換率 (質量%)
早強ポルトランド セメント	高炉スラグ微粉末 4000	30
	高炉スラグ微粉末 6000	50
	フライアッシュⅡ種	20

%とした。

マニュアル(案)の構成は以下のとおりである。まず、1章の総則では、マニュアル(案)の適用範囲を示した。次に、2章の設計値では、強度およびヤング係数に加えて、混和材を用いたコンクリートをPC橋に適用する際の課題となっていたクリープ係数と乾燥収縮ひずみの設計値を示した。3章の耐久性の検討では、中性化や塩化物イオン浸透、凍結融解に対する抵抗性など、混和材を用いたPC橋の耐久性の確保および向上を実現するために検討すべき事項を示した。4章の温度ひび割れ抵抗性の検討では、初期材齢のコンクリートの強度特性や自己収縮ひずみ、断熱温度上昇量の推定式など、混和材を用いたPC橋の温度ひび割れの発生リスクを検討する際に必要となる物性値の設定方法を示した。5章の施工では、配合や運搬、打込み、締固め、養生など、混和材を用いたPC橋の施工を適切に行うために配慮すべき事項を示した。6章の二酸化炭素排出削減効果の検討では、混和材を用いたPC橋の二酸化炭素排出削減効果を定量的に評価するための方法を示した。なお、マニュアル(案)の内容は、現場打ちPC橋に多く適用されている設計基準強度40N/mm²のコンクリートを想定し、表-1に示す結合材の組合せを標準として水結合材比35~40%のコンクリートでの実験や解析などで得られた知見に基づいて提案したものである。以下では、その概要を示す。

2.2 設計値

(1) コンクリートの強度とヤング係数

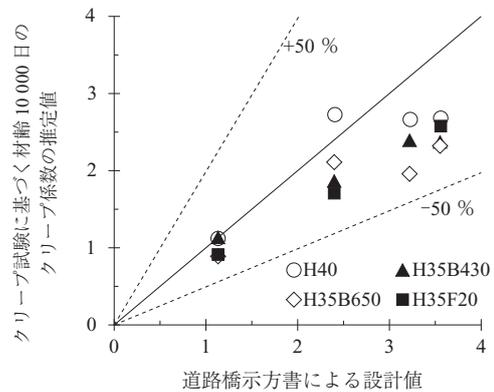
混和材を用いたコンクリートの圧縮強度、引張強度およびヤング係数は、原則として、標準養生を行った供試体の材齢28日の試験強度に基づいて定めることとした。また、表-1に示す結合材の組合せを用いた場合、コンクリートの引張強度およびヤング係数は、結合材の種類にかかわらず早強ポルトランドセメント単味のコンクリートと同様の傾向を示すことを確認したため、コンクリート標準示方書⁵⁾あるいは道路橋示方書⁶⁾に示される圧縮強度との関係を用いて求めてよいこととした。

(2) コンクリートのクリープ

表-1に示す結合材の組合せを用いた場合、コンクリートのクリープ係数は、道路橋示方書に示される早強ポルトランドセメント単味のコンクリートのクリープ係数と同じ値を用いてよいこととした。

材齢3日の圧縮強度の目標値を30N/mm²として、水結合材比を早強ポルトランドセメント単味で40%、表-1に示す結合材の組合せで35%とした供試体を用いてクリープ試験を実施した。載荷開始材齢を3, 7, 28および

365日とし、材齢910日までコンクリートのひずみを計測した。混和材を用いたコンクリートのクリープ係数の推定値と道路橋示方書による設計値との比較を図-1に示す。同図の設計値は早強ポルトランドセメント単味のコンクリートでの値である。結合材の種類や載荷材齢の違いにかかわらず、混和材を用いたコンクリートのクリープ係数は道路橋示方書による設計値と比較して同程度か小さくなることを確認した。



H40 : 早強ポルトランドセメント単味
($W/B=40\%$, $W=165\text{ kg/m}^3$)
H35B430 : 早強ポルトランドセメントの30%を高炉スラグ微粉末4000で置換 ($W/B=35\%$, $W=165\text{ kg/m}^3$)
H35B650 : 早強ポルトランドセメントの50%を高炉スラグ微粉末6000で置換 ($W/B=35\%$, $W=165\text{ kg/m}^3$)
H35F20 : 早強ポルトランドセメントの20%をフライアッシュⅡ種で置換 ($W/B=35\%$, $W=165\text{ kg/m}^3$)

図 - 1 コンクリートのクリープ係数の推定値と道路橋示方書による設計値との比較

(3) コンクリートの乾燥収縮

表-1に示す結合材の組合せを用いた場合、コンクリートの乾燥収縮ひずみは、道路橋示方書に示される早強ポルトランドセメント単味のコンクリートの乾燥収縮ひずみと同じ値を用いてよいこととした。

前述のクリープ試験と同じ配合のコンクリートにおける乾燥収縮ひずみの経時変化を図-2に示す。混和材を用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみは、早強ポルトランドセメント単味のコンクリートと比較して同程度か小さくなる

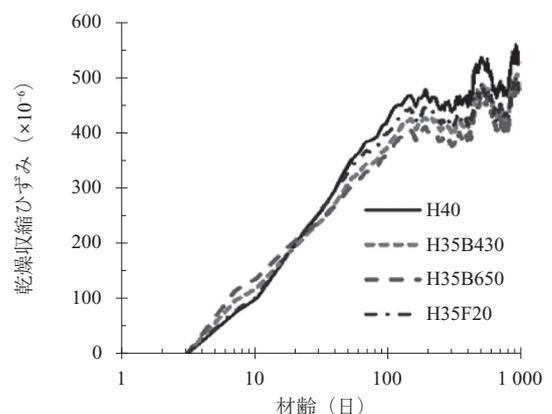


図 - 2 乾燥収縮ひずみの経時変化

ることを確認した。なお、ここでいう乾燥収縮ひずみは道路橋示方書と同様に自己収縮ひずみを含めたひずみとした。

2.3 耐久性

混和材を用いたコンクリートでは、塩化物イオン浸透に対する抵抗性の向上やアルカリシリカ反応の抑制などが期待できるが、中性化に対する抵抗性が低下することが懸念される。そこで、中性化、塩化物イオン浸透および凍結融解に対する抵抗性については、十分な信頼性を有する試験などの結果に基づいて検討することとした。ただし、表 - 1 に示す結合材の組合せを用いた供試体の試験結果に基づき、各作用に対して十分な抵抗性を有することを担保できる条件を併記した。以下では、中性化、塩化物イオン浸透および凍結融解に対する抵抗性に関する規定の内容と試験結果の概要を示す。なお、アルカリシリカ反応に対しては、文献調査を行った結果、混和材の置換率を一定以上とすることによって抑制効果が得られると考えられたが、使用する骨材によっては効果が異なることも起こり得るため、混和材によるアルカリシリカ反応の抑制効果を期待する場合には事前の試験などによって効果をj確認しておくことを推奨した。

(1) 中性化に対する抵抗性

水結合材比を 40 % 以下として、表 - 1 に示す結合材の組合せを用いた場合には、かぶりの最小値を 35 mm 以上とすることで、中性化に対して十分な抵抗性を有するとみなしてよいこととした。

国内 3 ヶ所の屋外に供試体を 20 ヶ月間暴露し、中性化深さを測定した結果と 100 年後の中性化深さを推定した結果を図 - 3 に示す。混和材を用いたコンクリートの中性化深さは早強ポルトランドセメント単味のコンクリートよりも大きくなったが、100 年後の中性化深さの推定値は 25 mm 以下（道路橋示方書に示されるかぶりの最小値 35 mm からコンクリート標準示方書に示される中性化残り 10 mm を差し引いた値以下）となることを確認した。

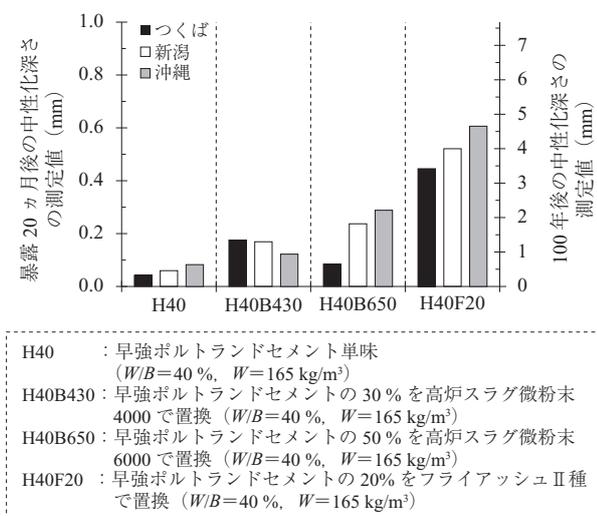


図 - 3 中性化深さの測定値と 100 年後の推定値

H40 : 早強ポルトランドセメント単味 (W/B=40%, W=165 kg/m³)
 H40B430 : 早強ポルトランドセメントの 30% を高炉スラグ微粉末 4000 で置換 (W/B=40%, W=165 kg/m³)
 H40B650 : 早強ポルトランドセメントの 50% を高炉スラグ微粉末 6000 で置換 (W/B=40%, W=165 kg/m³)
 H40F20 : 早強ポルトランドセメントの 20% をフライアッシュ II 種で置換 (W/B=40%, W=165 kg/m³)

(2) 塩化物イオン浸透に対する抵抗性

水結合材比を 40 % 以下として、表 - 1 に示す結合材の組合せを用いた場合には、かぶりの最小値を道路橋示方書の規定値以上とすることなどで、塩化物イオン浸透に対して十分な抵抗性を有するとみなしてよいこととした。

新潟と沖縄の沿岸部に供試体を 20 ヶ月間暴露し、塩化物イオン濃度を測定して見掛けの拡散係数を算出した結果を図 - 4 に示す。混和材を用いたコンクリートの見掛けの拡散係数は、早強ポルトランドセメント単味のコンクリートよりも小さくなることを確認した。ただし、現時点では早強ポルトランドセメントの一部を混和材で置換したコンクリートの塩化物イオンの鋼材腐食発生限界濃度が明確でないこと、長期的な暴露試験の結果が十分に蓄積されていないことなどを勘案し、かぶりの最小値を道路橋示方書の規定値よりも小さくしないこととした。

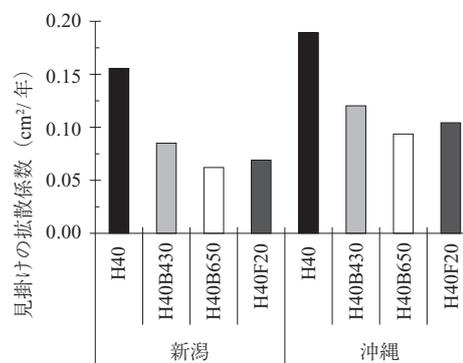


図 - 4 塩化物イオンの見掛けの拡散係数

(3) 凍結融解に対する抵抗性

水結合材比を 40 % 以下として、表 - 1 に示す結合材の組合せを用いた場合には、空気量 4.5 % の AE コンクリートとすることで、凍結融解に対して十分な抵抗性を有するとみなしてよいこととした。

空気量を 4.0 ~ 4.5 % とした供試体の凍結融解試験による相対動弾性係数の結果を図 - 5 に示す。混和材を用いたコンクリートの相対動弾性係数の低下はみられず、空気量 4.5 % の AE コンクリートと同等の凍結融解に対する抵抗性を確保できることを確認した。

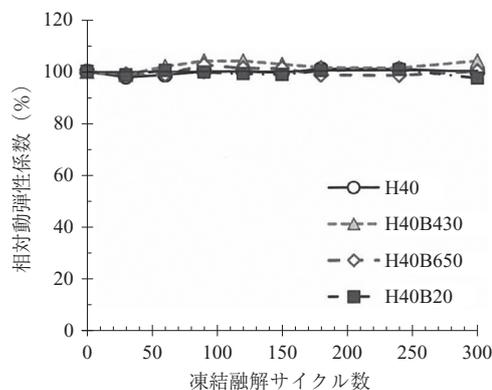


図 - 5 相対動弾性係数

2.4 温度ひび割れ抵抗性

混和材を用いた PC 橋において温度ひび割れの発生が懸念される場合には、実績による評価または温度応力解析による評価のいずれかの方法によって温度ひび割れに対する抵抗性を検討することとした。マニュアル（案）では、温度応力解析による検討方法を具体的に示した。

(1) 強度特性

表 - 1 に示す結合材の組合せを用いた場合には、温度応力解析における混和材を用いたコンクリートの圧縮強度の発現については、コンクリート標準示方書に示される早強ポルトランドセメント単味のコンクリートの推定式に基づいて、圧縮強度の発現に対する混和材の寄与率を考慮した推定方法を示した。

温度応力解析に用いるコンクリートの引張強度については、供試体から得られる割裂引張強度を用いることとした。また、圧縮強度と割裂引張強度の関係は、結合材の種類にかかわらず、早強ポルトランドセメント単味のコンクリートと同様の傾向を示すことを確認したため、引張強度の発現は早強ポルトランドセメントと同様の圧縮強度との関係から求めてよいこととした。

(2) 断熱温度上昇特性

表 - 1 に示す結合材の組合せを用いたコンクリートの断熱温度上昇特性については、実験結果に基づいて推定式を示した。この推定式は、圧縮強度と同様にコンクリート標準示方書に示す早強ポルトランドセメント単味のコンクリートの推定式に基づき、断熱温度上昇特性に対する混和材の寄与率を考慮した式である。

一例として、高炉スラグ微粉末 6000 を用いたコンクリートの断熱温度上昇量の実験値と推定値を図 - 6 に示す。同図では、文献 5) の推定式を用いた早強ポルトランドセメント単味のコンクリートおよび高炉セメント B 種を用いたコンクリートの断熱温度上昇量も併記した。高炉スラグ微粉末 6000 を用いたコンクリートでは、断熱温度上昇速度が文献 5) の早強ポルトランドセメント単味の推定式による値に近似し、断熱温度上昇量が文献 5) の早強ポルトランドセメント単味の推定式による値よりも小さくなることが認められた。同様の傾向は高炉スラグ微粉末 4000 やフライアッシュ II 種を用いたコンクリートでも認められた。これらのことから、断熱温度上昇特性の安全側の評価として、断熱温度上昇特性に対する混和材の寄与率を 1.0 とし断熱温度上昇量を推定することを推奨した。なお、単位セメント量が 400 kg/m³ を超える場合には、終局断熱温度上昇量は単位セメント量の一次式で推定される値よりも小さくなる場合⁷⁾があるため、改良式を提案した。

(3) 自己収縮ひずみ

混和材を用いたコンクリートの自己収縮ひずみは水結合材比、セメントの種類、混和材の種類や置換率、温度などの影響を受ける。自己収縮ひずみの影響を無視できない場合には、水和熱による体積変化と自己収縮ひずみの両者を考慮してコンクリートに発生する応力を算定することとした。

表 - 1 に示す結合材の組合せで、簡易断熱養生を行っ

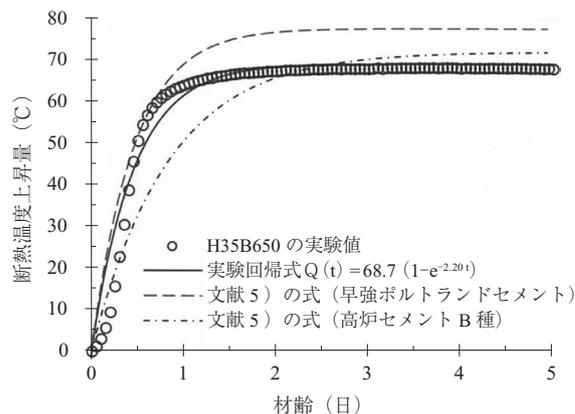


図 - 6 断熱温度上昇試験結果と推定式との比較

たコンクリートの自己収縮ひずみの測定結果に基づき、式 (1) ~ (5) および表 - 2 のように水和発熱による高温履歴の影響を考慮した自己収縮ひずみの推定式を提案した。

$$\varepsilon_{ag} = -\beta \varepsilon'_{as\infty} \left[1 - \exp \left\{ -a(t' - t_s)^b \right\} \right] \quad (1)$$

$$\varepsilon'_{as\infty} = c_1 \exp \left\{ c_2 \left(\frac{W}{B} \right) \right\} + \varepsilon'_{asT} \quad (2)$$

$$\varepsilon'_{asT} = \varepsilon'_{asT\infty} \left[1 - \exp \left\{ -1.2 \times 10^6 (T_{max} - 20) \right\} \right] \quad (3)$$

$$a = 3.7 \times \exp \left\{ -6.8 \left(\frac{W}{B} \right) \right\} (0.030 T_{max} + 0.40) \quad (4)$$

$$b = 0.25 \times \exp \left\{ 2.5 \left(\frac{W}{B} \right) \right\} (0.0025 T_{max} + 0.95) \quad (5)$$

ここに、 ε_{ag} ：自己収縮ひずみの推定値 ($\times 10^{-6}$)、 $\varepsilon'_{as\infty}$ ：自己収縮ひずみの最終値 ($\times 10^{-6}$)、 β ：配合補正係数 (表 - 2)、 t' ：有効材齢 (日)、 t_s ：凝結の始発 (表 - 2)、 $\varepsilon'_{asT\infty}$ ：高温履歴による自己収縮ひずみの増加量の最終値 ($\times 10^{-6}$) (表 - 2)、 c_1, c_2 ：係数 (表 - 2)、 W ：単位水量 (kg/m³)、 B ：単位結合材量 (kg/m³)、 ε'_{asT} ：高温履歴による自己収縮ひずみの増加量 ($\times 10^{-6}$)、 T_{max} ：温度解析によって求めるコンクリートの最高温度 (°C)、 a, b ：自己収縮の進行特性を表す係数である。

表 - 2 自己収縮ひずみ推定式における各係数

結合材の組合せ	式(1)	式(2)	式(3)
早強ポルトランドセメントの 30% を高炉スラグ微粉末 4000 で置換	$\beta = 1.0$ $t_s = 0.2$	$c_1 = 2\ 350$ $c_2 = -5.8$	$\varepsilon'_{asT\infty} = 80$
早強ポルトランドセメントの 50% を高炉スラグ微粉末 6000 で置換			
早強ポルトランドセメントの 20% をフライアッシュ II 種で置換	$\beta = 1.2$ $t_s = 0.2$	$c_1 = 3\ 070$ $c_2 = -7.2$	$\varepsilon'_{asT\infty} = 50$

(4) 膨張ひずみ

膨張材による自己収縮ひずみの低減効果を実験的に検討した結果に基づき、膨張材を用いたコンクリートの膨張ひずみは拘束条件下で得られる値を用いることとした。この

具体的な方法として、温度履歴を与えた封緘養生の供試体を用いて拘束膨張試験（JIS A 6202 附属書 2）によって膨張ひずみを求める方法と、JIS A 6202 附属書 2 に準拠して標準養生を行った供試体のひずみと膨張材を用いないで温度履歴を与えた供試体の自己収縮ひずみを重ね合わせて求める方法を示した。

(5) クリープの影響と熱物性

温度応力解析におけるコンクリートのクリープの影響は、マスコンクリートのひび割れ制御指針⁸⁾に示す有効ヤング係数を用いて考慮してよいこととした。また、コンクリートの熱物性については、使用材料や配合に基づいて定めることとした。

鉄筋拘束試験と温度応力解析を行った結果、高温履歴の影響を考慮したコンクリートの材料特性と有効ヤング係数を用いることによって、コンクリートに発生する拘束応力をおおむね正確に推定できることを確認した。

2.5 施 工

(1) 使用材料の留意点

早強ポルトランドセメント、高炉スラグ微粉末およびフライアッシュは JIS に適合するものを用いることを標準とした。高炉スラグ微粉末には、せっこうを添加しているものとせっこうを添加していないものがある。せっこうの添加は凝結性状や水和反応に影響を与えるため、試験成績表に示される三酸化硫黄の含有率によって、せっこうの添加の有無およびその量を確認しておく必要がある。また、フライアッシュを用いる場合には、未燃カーボンによって空気連行性が低下することがある。未燃カーボンは AE 剤などの化学混和剤を吸着する性質を有するため、通常の AE 剤では所定の空気量を確保するための使用量が増加する場合や空気量の経時変化が大きくなる場合があることに留意する必要がある。

(2) 配合の留意点

圧縮強度については、水結合材比が一定の条件では、混和材の置換率を高めるほど初期材齢の強度発現が遅くなることを確認した。このため、混和材を用いたコンクリートを PC 橋に適用する際に早強ポルトランドセメント単味のコンクリートと同様の工程でプレストレスを導入するためには、早強ポルトランドセメント単味のコンクリートよりも水結合材比を低減し、初期材齢の強度発現を確保する必要がある。

(3) 運搬時の留意点

混和材を用いたコンクリートの運搬、打込みおよび締固めは、通常のコンクリートと同様に行うことができる。ただし、混和材を用いたコンクリートは、早強ポルトランドセメント単味のコンクリートよりも粘性が高くなるため、コンクリートの運搬において圧送を行う際には、圧力損失が大きくなる場合があることに留意する必要がある。また、配合や使用材料、温度、運搬条件などによっては圧送前後でのスランプの低下や経時的なスランプの低下が大きくなる場合があることにも留意が必要である。

(4) 湿潤養生期間の標準と養生時の留意点

混和材を用いたコンクリートの強度発現と耐久性は、湿

潤養生期間および養生温度の影響を受ける。混和材を用いたコンクリートの湿潤養生期間は試験によって定めることとしたが、全ての工事において個々に湿潤養生期間を試験によって設定することは難しいため、各種試験の結果に基づき、表 - 1 に示す結合材の組合せを用いたコンクリートの湿潤養生期間の標準を定めた。具体的には、湿潤養生期間が強度発現ならびに中性化、塩化物イオン浸透および凍結融解に対する抵抗性に与える影響を確認し、表 - 1 に示す結合材の組合せを用いたコンクリートの湿潤養生期間を日平均気温 15℃ 以上の場合で材齢 3 日とした。

試験結果の例として、材齢 3 日まで湿潤養生を行った供試体の圧縮強度の発現を図 - 7 に示す。湿潤養生期間を材齢 3 日までとすることによって、混和材を用いたコンクリートの材齢 3 日の圧縮強度は、標準養生を行った供試体の材齢 28 日における圧縮強度の 50% 以上となることを確認した。

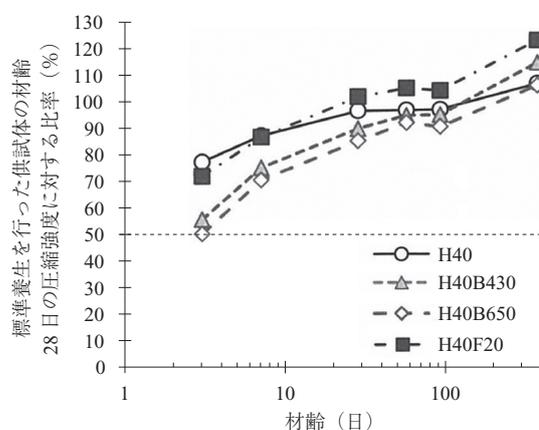


図 - 7 材齢 3 日まで湿潤養生を行った供試体の圧縮強度の発現

また、屋外に 30 ヶ月間暴露した供試体の中性化深さから推定した 100 年後の中性化深さの推定値を図 - 8 に示す。湿潤養生期間を 3 日以上とすることによって、100 年後の中性化深さの推定値が 25 mm 以下（道路橋示方書に示されるかぶりの最小値 35 mm からコンクリート標準示方書に示される中性化残り 10 mm を差し引いた値以下）となることを確認した。この他にも、湿潤養生期間を 3 日とすることによって、混和材を用いたコンクリートの塩化物イオン浸透や凍結融解に対する抵抗性が早強ポルトランドセメント単味のコンクリートと同等以上となることを確認した。

このように、湿潤養生期間を 3 日とすることによって、強度発現および耐久性の面では適切な品質を確保できることを確認した。ただし、湿潤養生期間の延長は脱型後の強度増加や耐久性の向上に寄与するため、施工の効率性や経済性などに悪影響を及ぼさない範囲内であれば、湿潤養生期間を長く設定することを推奨した。また、拘束条件などによってコンクリートにひび割れの発生が懸念される場合には、必要に応じて型枠存置期間を別途定めることとした。

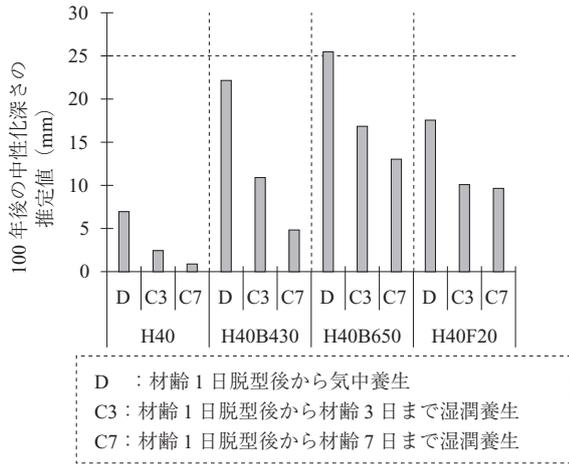


図-8 養生条件が異なる供試体の100年後の中性化深さの推定値

2.6 二酸化炭素排出削減効果

コンクリートに用いる材料の製造時に発生する二酸化炭素排出量を比較することによって、混和材の使用による二酸化炭素排出削減効果を定量的に評価することとした。この際、二酸化炭素排出量については、各材料の使用量に二酸化炭素排出原単位を乗じて算出してよいこととした。

文献9)を参考に、PC橋の代表的な構造形式のうち、ポストテンション方式3径間連続PCT桁橋、ポストテンション方式4径間連続PC箱桁橋を対象として、混和材使用時の二酸化炭素排出量の削減率を試算した。前述したように、プレストレス力の導入に必要となる初期材齢の圧縮強度を確保するため、水結合材比を早強ポルトランドセメント単味のコンクリートでは40%としたが、混和材を用いたコンクリートでは35%とした。コンクリートに用いる材料の製造時の二酸化炭素排出量の削減率を試算した結果を図-9に示す。この結果によると、最大で約40%の二酸化炭素排出削減効果が得られることを確認した。なお、材料製造だけでなく、施工機械の運搬や運転なども含めた建設時全体の二酸化炭素排出量を対象とした試算も実施しており、この試算結果では、最大で約18%の二酸化炭素排出削減効果が得られることを確認した。

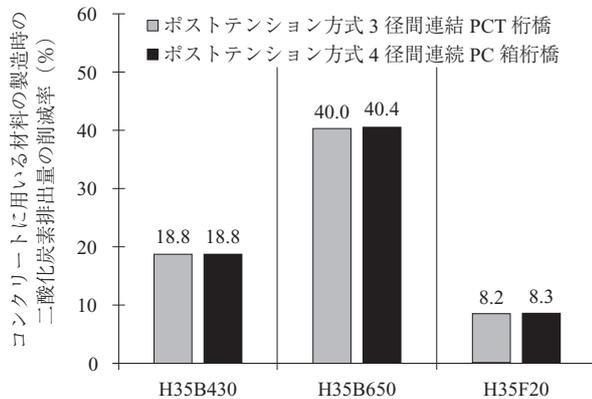


図-9 材料製造時の二酸化炭素排出量の削減率

3. おわりに

今回発刊した「混和材を用いたプレストレストコンクリート橋の設計・施工マニュアル(案)」は、早強ポルトランドセメントの一部を高炉スラグ微粉末やフライアッシュで置換したコンクリートをPC橋に適用する際の設計および施工の標準的な方法を示したものである。このマニュアル(案)がPC橋の耐久性向上による長寿命化と建設時の環境負荷低減の一助となれば幸いである。なお、マニュアル(案)の詳細については、(国研)土木研究所のホームページ¹⁰⁾で閲覧することができる。

最後に、マニュアル(案)の作成に従事された委員各位に感謝の意を表すとともに、委員の一覧を以下に示す。

低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究委員会名簿

(国研)土木研究所

渡辺博志, 古賀裕久, 森濱和正, 中村英佑, 栗原勇樹

(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会

手塚正道, 鈴木雅博, 小林 崇, 松山高広, 國富康志, 石井 豪, 俵 道和, 北野勇一, 鈴木 聡, 河金 甲, 坂 哲, 伊吹真一, 武部行男, 長谷川 剛, 藤森信一, 天谷公彦, 高橋 健, 徳光 卓, 正木 守, 松下拓樹, 藤田 学, 諸橋 明, 斯波明宏, 佐々木 亘 (敬称略)

参考文献

- 1) 手塚正道, 梶原 勉, 齋藤謙一, 河合研至: PC橋上部工のCO₂排出量の見える化, コンクリート工学, Vol.48, No.9, pp.91-94, 2010
- 2) 土木学会: コンクリート構造物の環境性能照査指針(試案) コンクリートライブラリー Vol.125, 2005
- 3) (国研)土木研究所, (一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会: 低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究報告書(Ⅱ)-混和材を用いたプレストレストコンクリート橋の設計・施工マニュアル(案)-, 共同研究報告書第472号, 2016
- 4) (国研)土木研究所, (一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会, (株)大林組, 大成建設(株), 前田建設工業(株), 戸田建設(株), 西松建設(株), 鉄鋼スラグ協会, 電源開発(株): 低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究報告書(Ⅰ)-低炭素型セメント結合材を用いたコンクリート構造物の設計・施工ガイドライン(案)-, 共同研究報告書第471号, 2016
- 5) 土木学会: コンクリート標準示方書[設計編], 2013
- 6) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅲコンクリート橋編), 2012
- 7) 国土交通省土木研究所, プレストレスト・コンクリート建設業協会: 現場打ち高強度コンクリート部材の設計施工法の開発に関する共同研究報告書-現場打ち高強度コンクリート施工マニュアル(案)-, 共同研究報告書第266号, pp.119-122, 2001
- 8) 日本コンクリート工学会: マスコンクリートのひび割れ制御指針2008, 2008
- 9) (一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会: PC構造物の環境負荷低減の取組み-PC構造物の建設に伴うCO₂排出量の見える化-, 2011
- 10) (国研)土木研究所ホームページ: <https://www.pwri.go.jp/jpn/about/pr/pwri-db/index.html>

[2016年3月1日受付]