超速硬高靱性コンクリートの材料特性

㈱トクヤマ　正会員　○古城　誠　㈱テクノ・ブリッド　フェロー会員　青木　茂
㈱大林組　正会員　富井　孝喜　㈱トクヤマエムテック　末益　大祐
萩原工業㈱　正会員　室賀　陽一郎　㈱大林組　正会員　早川　智浩

１．はじめに

近年、高度成長期に建設・整備された多くの道路橋、高架橋では、供用年数が 40 年を超えるものが多くなり、様々な劣化損傷が生じてきている。特に道路橋の鉄筋コンクリート床版(以下、RC 床版)は、繰返し荷重による疲労劣化や凍結防止剤の影響による塩害などが顕在化しているのが現状である。そこで、筆者らは RC 床版の補強方法である上面増厚工法の増厚材に注目し研究開発を重ねている。先に開発した超速硬高流動高靱性モルタル [1)]は、HPFRCC に属するモルタルであり機械のコンパクト化を可能にし、RC 床版の一体性の確保を可能とした材料である。しかし、モルタルであるため単位水量も多く、乾燥収縮が大きい傾向にあったため、一つの打開策としてコンクリート化検討を実施した。本検討では、先に報告した「超速硬高靱性コンクリートの配合検討」の基本配合を修正した本配合を採用し、本配合の硬化・収縮特性および耐凍害性について報告する。

２．基本配合の修正

先に報告した基本配合を表-1 に示す。また、本材料の開発コンセプトを表-2 に示す。基本配合は、PP 繊維の絡み合いとプラスティシティーの不足が考えられた。繊維の絡み合いは、繊維長の影響と判断した。短い繊維は、フレッシュ性状を向上させるが、靱性が低下する相反関係があるため、繊維長を 30mm から 24mm と若干短くし、繊維量は 2.5vol%とした。プラスティシティーの不足は、s/a を調整することで対応した。その配合およびフレッシュ性状を表-3 に示す。スランプは目標値に近づき、材料分離もない配合となった。また、同配合で実施した曲げタフネス試験(JSCE -G552-2010)を図-1 に示す。結果から、たわみ硬化特性が得られ DFRCC と判断できたため、この配合を本配合として、硬化・収縮特性の各試験を実施した。

表-1　基本配合

PP 繊維			配合				
繊度 dtex	繊維長 mm	混入率 vol%	W/B %	s/a %	単位量 kg/m^3		
					B	W	G
2000	30	2.0 以上	36.9	44.4	615	226	833

表-2　開発コンセプト

コンセプト	目標
増厚材の要求性能を満足すること	可使時間 40 分以上 材齢 3H で 24N/mm^2 以上
高靱性であること	DFRCC※であること
寸法変化の低減	0.05%以下(JIS A 1129)
静弾性係数は既設コンクリートと同程度とすること	30kN/mm^2 前後
寒冷地でも使用可能なこと	十分な凍結融解抵抗性を有すること
施工性が高い材料であること	スランプ 12cm 程度以上 材料分離しないこと

※DFRCC：Ductile Fiber Reinforced Cementitious Conposites
(高靱性セメント複合材料)

表-3　本配合とフレッシュ性状

PP 繊維			配合				
繊度 dtex	繊維長 mm	混入率 vol%	W/B %	s/a %	単位量 kg/m^3		
					B	W	G
2000	24	2.5	36.2	55.2	520	188	753
フレッシュ性状							
スランプ　cm		空気量　%			練上り温度　℃		
11.8		2.2			21.2		

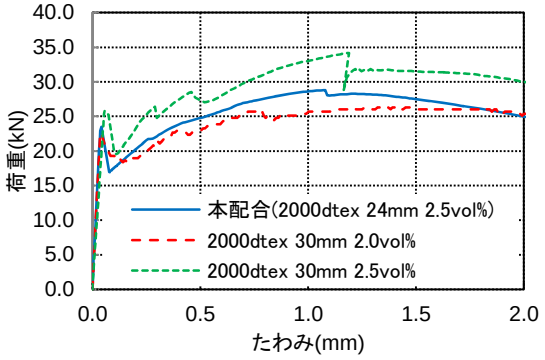

図-1　曲げタフネス試験曲線

３.本配合の材料特性

3.1　圧縮強度と静弾性係数

圧縮強度試験結果を表-4 に、先に開発した高靱性モルタルと比較して示す。まず、材齢 3 時間におけ

キーワード　上面増厚工法，高靱性，超速硬，DFRCC，ポリプロピレン繊維
連絡先　〒299-0268　千葉県袖ケ浦市南袖 10　㈱トクヤマ　セメント開発グループ　TEL 0438-60-8770

る圧縮強度は 24N/mm^2 を大きく超えた。これは粗骨材混入による効果と考えられる。一方、静弾性係数も材齢 28 日で目標の 30kN/mm^2 を超える結果となった。基本配合より s/a を上げたことにより、粗骨材量は約 10%低下したが静弾性係数低減の効果はなかった。したがって、静弾性係数は単位量の変更等では効果はないと判断し、本検討では見送ることとした。なお、可使時間は 40 分以上確保することができたため、増厚材の要求性能は満足した。

3.2 乾燥収縮と自己収縮

JIS A 1129 に基づいて実施した乾燥収縮による長さ変化率の試験結果を図-1 に示す。先に開発した高靱性モルタルの結果も合わせて示す。高靱性モルタルと比較すると、長さ変化率を大幅に低減することができ材齢 91 日で約 1/5 となり、220×10^{-6}であった。本配合は高靱性モルタルの約 27%を粗骨材で置換しており、総モルタル量が削減したことと粗骨材による収縮に対する抵抗効果により、乾燥収縮が減少したと考えられる。よって、長さ変化率の目標値は満足できた。

自己収縮試験 [2]の試験結果を図-2 に示す。本配合の自己収縮ひずみは、硬化とともに膨張し、材齢 1 時間で+280×10^{-6}程度まで膨張する。このとき試験体温度のピーク値をとる。ひずみ値は温度補正をしているが、熱膨張係数を 10×10^{-6}/℃一定として算出しているので、絶対値は多少相違があるかもしれない。しかしながら、高靱性モルタルと同様の組成物を使用しているので、膨張ひずみは発生していると思われる。この膨張理由は、カルシウムアルミネートおよびせっこうの水和反応によりエトリンガイドが急速な生成をし、この過程で生じるエトリンガイドは膨張性があるため、その影響で膨張を示していると考えられる [1]。その後、約+100×10^{-6}程度まで減少し、一定値となった。高靱性モルタルと比較すると約半分の膨張であった。乾燥収縮で説明したモルタル置換効果、骨材の抵抗効果の考え方が膨張側でも成立しているものと推定される。

3.3 凍結融解抵抗性

JIS A 1128 に基づいて実施した凍結融解試験の試験結果を図-3 に示す。凍結融解繰返し 300 回終了後に、相対動弾性係数は 85%以上確保でき、そのときの質量減少率は 0.3%であった。したがって、本配合は、十分な凍結融解抵抗性があると判断できる。

表-4 圧縮強度試験結果

材齢	配合	3 時間	7 日	28 日
圧縮強度 (N/mm^2)	本配合	38.2	59.1	64.7
	高靱性ﾓﾙﾀﾙ	27.6	59.8	63.7
静弾性係数 (kN/mm^2)	本配合	28.5	34.7	36.2
	高靱性ﾓﾙﾀﾙ	17.7	24.6	24.1

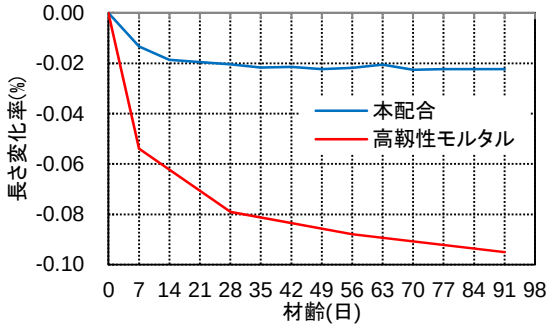

図-1 長さ変化率試験結果

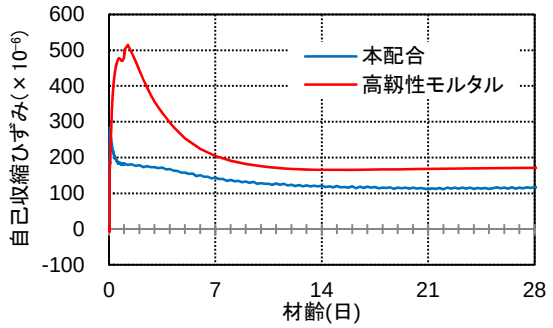

図-2 自己収縮試験結果

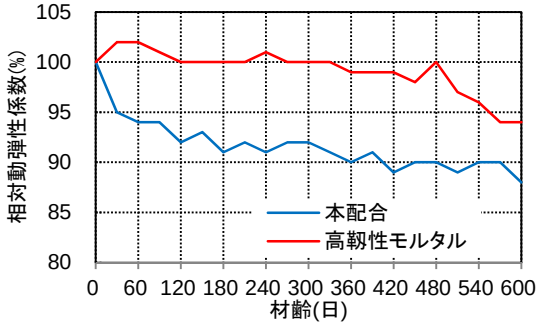

図-3 質量変化率の変化

4．まとめ

超速硬高靱性コンクリートの開発を実施した。当初に設定した開発コンセプトは、静弾性係数以外目標を達成することができた。静弾性係数の低減は今後の課題であり、骨材種類の変更を検討している。

参考文献：

1)早川智浩ら：高流動高じん性モルタルを用いた上面増厚工法の開発，コンクリート工学 vol50 No.4，pp.338-344,2012.4
2)(社)日本コンクリート工学協会：超流動コンクリート研究委員会報告書(Ⅱ),1994.5