

高強度軽量プレキャストPC床版に使用する軽量コンクリートの耐凍結融解性

ピーシー橋梁(株) 正会員 工修 ○中村 定明
 同 上 正会員 山下 亮
 石川島建材工業(株) 小野辺 良一
 同 上 黒沢 隆

1. はじめに

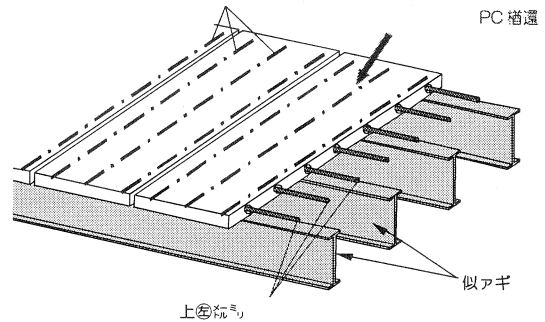
近年、車両の大型化や交通量の増加によって、既設道路橋の鉄筋コンクリート床版(以下、RC床版)の損傷事例が報告されている¹⁾。このような背景のもと、筆者らは損傷を受けたRC床版の補修・補強工法として、高強度軽量コンクリート(以下、軽量コンクリート)を用いたプレキャストPC床版による床版打換え工法を開発した。この高強度軽量プレキャストPC床版は、従来のコンクリート系床版に比べ約20%の重量軽減効果が期待でき、車両の大型化や交通量の増加による既設鋼主桁や下部工への応力負担を軽減することができる。また、プレキャスト床版の軽量化は、運搬や架設機材を簡素化できるため、コスト削減効果も期待できる。

筆者らは現在までに、高強度軽量プレキャストPC床版の材料特性、力学的特性および疲労耐久性について報告している^{2~4)}。本稿は高強度軽量プレキャストPC床版に用いた軽量コンクリートの凍結融解試験について報告するものである。

2. 高強度軽量プレキャストPC床版の特長

高強度軽量プレキャストPC床版の基本構造を図-1に、主な特長を以下に示す。

- ①軽 量：人工軽量骨材の使用により、従来の普通コンクリートと比べて約20%の重量を軽減(コンクリートの単位容積質量 = 約 $1.85t/m^3$)。
- ②高耐久性：高強度コンクリート($\sigma_{ck} = 50 N/mm^2$)およびPC構造の採用。
- ③高品質：プレキャスト工場製品であるため、高品質の確保が可能。



3. 凍結融解試験

3. 1 試験の目的および性能確認試験

軽量コンクリートには膨張頁岩系の人工軽量骨材(粗骨材)を使用しているが、膨張頁岩系の人工軽量骨材は普通骨材に比べて多孔質であるため吸水率が高く、寒冷地ではその骨材内に吸水された水が凍結により膨張するため、耐凍結融解性が問題となる。この問題を解決するために、高強度軽量プレキャストPC床版に使用する軽量コンクリートには、人工軽量骨材の低含水品(含水率2%以下)を使用し、コンクリートの打込みはバケットによって行っている。また、近年のスパイクタイヤの使用禁止により、寒冷地における凍結防止剤の散布量が著しく増加している。この凍結防止剤の成分にはNaClが多く含まれるが、高濃度のNaCl水溶液はコンクリートの耐凍結融解性を低下させるとの報告がある⁵⁾。これらの理由から、①人工軽量骨材の吸水性を把握すること、②耐凍結融解性を確認することおよび③塩化物環境下での耐凍結融解性を確認することが必要であると考えられ、その性能を確認するために以下の3つの試験を実施した。

①人工軽量骨材の吸水率試験

低含水率の人工軽量骨材のコンクリート練混ぜから硬化までの吸水率を把握するために、吸水率試験を行った。吸水率試験は、実際に練混ぜたコンクリートから取り出した人工軽量骨材を用いて行い、吸水率の算定方法は、JIS A 1135 (構造用軽量粗骨材の密度及び吸水率試験方法) に準じた。吸水率試験はコンクリート練混ぜ2時間後まで実施した。

②凍結融解試験

凍結融解試験は JIS A 1148 (コンクリートの凍結融解試験方法) に準拠した方法で行い、試験方法の種類は A 法 (水中凍結融解試験方法) とした。30 サイクル毎に相対動弾性係数、質量減少率および供試体表面の状態変化を計測し、300 サイクルまで試験を行った。人工軽量骨材の低含水品を使用することの効果を確認するために、プレウェッティングを行った人工軽量骨材 (標準品、含水率 26.5%) を使用した供試体による試験を同時に行った。

③塩水凍結融解試験

塩水凍結融解試験には真水の代わりに塩水 (NaCl 3%溶液) を使用し、その他の試験条件は JIS A 1148 に準拠した。普通骨材を使用したコンクリートとの比較を目的として、同条件で普通コンクリート供試体の塩水凍結融解試験を実施した。

表-1 軽量コンクリートの使用材料

セメント	早強ポルトランドセメント 比重 3.14
細骨材	相模川産 比重 2.57, 吸水率 2.04%
粗骨材	膨張頁岩系人工軽量骨材 比重 1.24, 含水率 1.0% (低含水品), 26.5% (標準品) 吸水率 5.6% (1時間), 9.3% (24時間)
混和剤	①高性能 AE 減水剤 ②AE 助剤
水	水道水

表-2 普通コンクリートの使用材料

セメント	早強ポルトランドセメント 比重 3.14
細骨材	富士川産 比重 2.59, 吸水率 1.96%
粗骨材	相模川産砕石 比重 2.66
混和剤	①高性能 AE 減水剤 ②AE 助剤
水	水道水

表-3 軽量コンクリート (低含水品) の示方配合

スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/A (%)	単位量(kg/m ³)					
				水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤①	混和剤②
10.0 ±2.5	5.0 ±1.5	35	45	175	500	723	444	4.0	0.02

3. 3 使用材料および示方配合

軽量コンクリートの使用材料を表-1に、普通コンクリートの使用材料を表-2に示す。また、人工軽量骨材の低含水品を使用した時の示方配合を表-3に、普通コンクリートの示方配合を表-4に示す。

表-4 普通コンクリートの示方配合

スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/A (%)	単位量(kg/m ³)					
				水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤①	混和剤②
10.0 ±2.5	4.5 ±1.5	35	45	175	500	717	902	2.75	0.04

3. 4 試験供試体の養生方法

コンクリートの養生方法は、工場製のプレキャスト製品を対象としているため蒸気養生とした。蒸気養生は、前置き時間を3時間、温度上昇勾配を1時間当たり10℃、最高温度50℃、最高温度保持時間を3.5時間とした。蒸気養生後の養生条件は、以下のとおりとした。

- 凍結融解試験 : 水中養生 14 日
- 塩水凍結融解試験 : 気中養生 28 日の後、水中養生 7 日

3. 5 人工軽量骨材の吸水率試験結果

人工軽量骨材の吸水率の変化を図-2に示す。練混

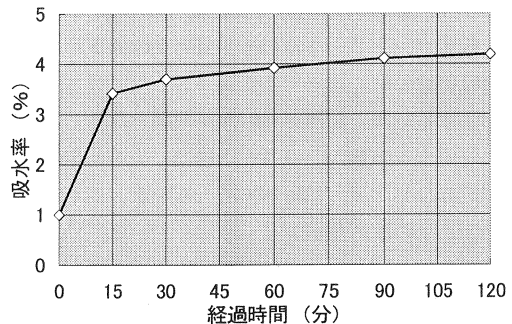


図-2 吸水率試験結果

ぜ前の含水率 1.0%の人工軽量骨材では、コンクリート打込み 1 時間後の吸水率が 3.9%、2 時間後の吸水率が 4.2%となった。この結果より、人工軽量骨材の低含水品 (2%以下) を使用した場合、硬化コンクリート中の人工軽量骨材の含水率は 5%程度と考えられる。

3. 6 凍結融解試験結果

(1) 硬化コンクリート試験結果

硬化コンクリートの試験結果 (供試体 3 体の平均値) を表-5 に示す。圧縮強度は所定の強度 50N/mm^2 を満足した。低含水品および標準品を用いたコンクリートは同配合としたため、標準品を用いたコンクリートの単位容積質量が 4%程度大きくなっている。

(2) 凍結融解試験結果

図-3 に相対動弾性係数の計測結果を示す。ここで、計測結果は供試体 3 体の平均値とした。低含水品を用いた軽量コンクリートの相対動弾性係数は、300 サイクル終了時で 100%であった。通常品を用いた場合は 60 サイクル終了時に相対弾性係数が 33%となったため、この時点で試験を終了した。

図-4 に質量減少率の計測結果 (供試体 3 体の平均値) を示す。質量減少率は、低含水品で 0.1% (300 サイクル終了時)、標準品で 2.8% (60 サイクル終了時) であった。

これらの結果から、低含水率の人工軽量骨材を使用した軽量コンクリートは、300 サイクルの凍結融解作用後も試験実施前と同等の相対動弾性係数および質量であり、十分な耐凍結融解性を有していると言える。また、一般的に言われているとおり、含水率が高い人工軽量骨材を使用したコンクリートの耐凍結融解性は低いことがわかった。

3. 7 塩水凍結融解試験結果

(1) 硬化コンクリート試験結果

硬化コンクリートの試験結果 (供試体 3 体の平均値) を表-6 に示す。軽量コンクリートは単位容積質量、圧縮強度ともに所定の値を満足した。材齢 7 日の軽量コンクリートの圧縮強度が、材齢 28 日の結果より大きくなったが、これは各供試体の試験結果にばらつきがあったためである。また、本試験に用いた普通コンクリートは軽量コンクリートとほぼ同等の強度であった。

(2) 塩水凍結融解試験結果

図-5 に相対動弾性係数の計測結果 (供試体 3 体の平均値) を示す。ここで、計測結果は供試体 3 体の平

表-5 硬化コンクリート試験結果 (凍結融解試験)

	材齢 (日)	単位容積質量 (t/m^3)	圧縮強度 (N/mm^2)
低含水品	7	1.89	53.7
	28	1.89	57.1
標準品	7	1.96	50.4
	28	1.97	51.3

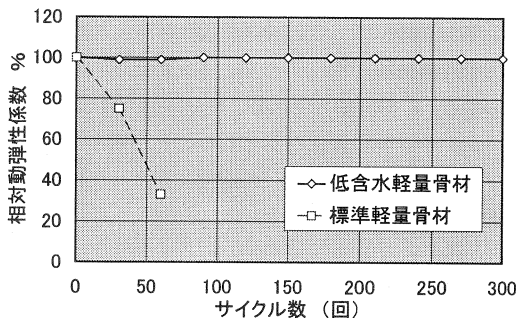


図-3 相対動弾性係数の計測結果 (凍結融解試験)

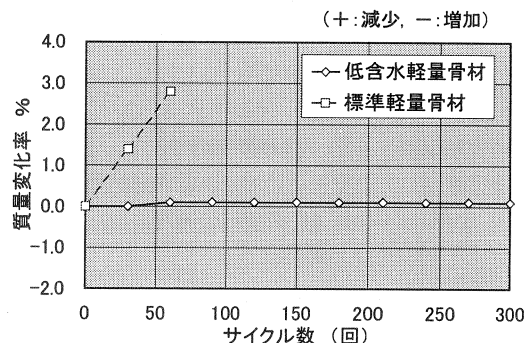


図-4 質量減少率の計測結果 (凍結融解試験)

表-6 硬化コンクリート試験結果 (塩水凍結融解試験)

	材齢 (日)	単位容積質量 (t/m^3)	圧縮強度 (N/mm^2)
軽量コンクリート	7	1.86	57.6
	28	1.86	55.0
普通コンクリート	7	2.31	55.6
	28	2.32	59.1

均値とした。300 サイクル終了時の相対動弾性係数は、軽量コンクリート 93.3%、普通コンクリート 96.3%であった。

図-6に質量減少率の計測結果(供試体3体の平均値)を示す。300 サイクル終了時の質量減少率は、軽量コンクリート 0.8%、普通コンクリート 0.5%であった。

これらの結果より、軽量コンクリートは、普通コンクリートと比較すると、相対動弾性係数、質量減少率ともに劣化が若干大きいものの、塩化物環境下(NaCl 3%溶液中)においても、高い耐凍結融解性を有していると言える。また、前述した通常の凍結融解試験で、300 サイクル終了時に、相対動弾性係数 100%、質量減少率が 0.1%であったことを考慮すると、塩化物環境下での凍結融解作用によって、劣化が促進されることがわかる。この理由としては、NaClの影響によって軽量コンクリートの表面が劣化したことが考えられるが、プレキャスト PC 床版への適用に当たって問題のない範囲であった。

4. まとめ

高強度軽量プレキャスト PC 床版に用いる軽量コンクリートの耐凍結融解性を確認するために、①人工軽量骨材の吸水率試験、②凍結融解試験および③塩水凍結融解試験を行った。本試験の範囲内で得られた結果を以下に示す。

- ①実際にコンクリートを練混ぜた人工軽量骨材(低含水品)の吸水率試験を行った結果、人工軽量骨材の硬化までの吸水率は約 5%であることがわかった。
- ②軽量コンクリートの凍結融解試験を行った結果、人工軽量骨材の低含水品を使用した場合、十分な耐凍結融解性を示すことが確認できた。
- ③軽量コンクリートの塩水凍結融解試験を行った結果、塩化物の作用により若干の劣化が認められたが、プレキャスト PC 床版への適用に当たって問題のない範囲であった。

参考文献

- 1) 例えば、関口幹夫：供用 27 年間の RC 床版追跡調査結果，第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集，pp.259-264，1998
- 2) 中村定明，深山清六，山崎淳：高強度軽量コンクリートを用いたプレキャスト PC 床版に関する研究，第二回鋼橋床版シンポジウム講演論文集，pp.101-106，2000
- 3) 中村定明，深山清六，小野辺良一，山下亮：高強度軽量プレキャスト PC 床版の疲労耐久性評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.2，pp.571-576，2002
- 4) S.Nakamura, R.Yamashita, K.Fukayama, R.Onobe：Development of High Strength and Lightweight Precast Prestressed Concrete Slab，Proceeding of the first fib Congress，Session 9，pp.67-68，2002
- 5) 板橋洋房，三浦尚：コンクリートの凍害に及ぼす凍結防止剤の影響：コンクリート工学年次論文報告集，Vol.16，No.1，pp.555-560，1994

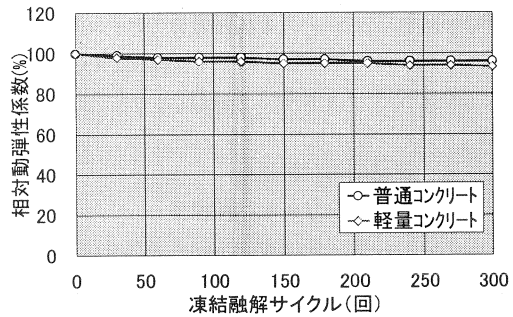


図-5 相対動弾性係数の計測結果 (塩水凍結融解試験)

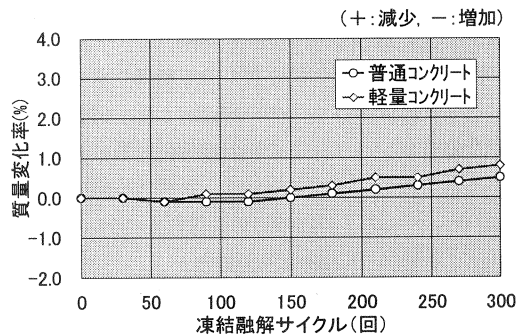


図-6 質量減少率の計測結果 (塩水凍結融解試験)