

頁岩系軽量骨材の吸水率が軽量コンクリートの耐久性および物性に及ぼす影響

北海道開発土木研究所 正会員 遠藤 裕丈 田口 史雄
 ドーピー建設工業(株) 正会員 竹本 伸一 松井 敏二

1. はじめに

軽量コンクリートは、死荷重の軽減により経済性、耐震性の向上に期待されるが、寒冷地における普及が阻害される要因の一つに、耐凍害性に対する懸念がある。筆者らは前報¹⁾で、各種の軽量骨材を用いたコンクリートの凍結融解試験 (ASTM-C-666、A法) を行い、絶乾状態の頁岩系軽量骨材が有効と報告したが、ポンプ施工を考慮すると、耐凍害性に影響しない範囲で骨材の吸水率を上げることが必要となる。本論では、耐久性と施工性の両者が満足できる材料配合の確立を目指し、頁岩系軽量骨材の吸水率が軽量コンクリートの耐久性および物性に及ぼす影響について検討した。

2. 試験概要

配合を表-1に示す。セメントは普通ポルト、粗骨材は頁岩系非造粒型の軽量骨材 (絶乾密度 $1.25\text{g}/\text{cm}^3$)、細骨材は除塩処理された海砂 (表乾密度 $2.70\text{g}/\text{cm}^3$) を用いた。軽量骨材の吸水率は、絶乾、10%、20%、プレウェッティング (以下: Pwet) の4水準とした。吸水率は、図-1の事前の吸水試験結果をもとに、10%は絶乾の軽量骨材を24時間、20%は28日間水中浸漬させて調整した。Pwetの吸水率は25%であった。水セメント比は35%とし、スランプはポンプ施工を想定し、既往の実績をもとに18~21cmとした。空気量は耐凍害性の確保を重視し、示方書上限値の7%²⁾とし、骨材修正係数 (図-2) を考慮して目標値を設定した。試験は、強度試験、凍結融解試験 (ASTM-C-666、A法)、電気的手法を利用した³⁾急速塩分浸透試験を行った。また、乾燥収縮や温度応力によるひびわれの影響にも着目し、長さ変化試験、断熱温度上昇試験も行った。

3. 試験結果および考察

図-3に材齢7、28、91日の強度試験結果を示す。全体的に、吸水率の増加に伴って、圧縮強度は増加し、引張強度と曲げ強度は低下した。強度特性に関しては、圧縮強度はマトリックスの強度、引張強度と曲げ強度は粗骨材の破壊状況に支配されるとする森ら⁴⁾の報告がある。このことから、吸水率の増加は、骨材周辺のペーストの水和、換言すると、圧縮強度を支配するマトリックス強度にプラスの効果を与えると言える。吸水率が引張強度、曲げ強度に与える負の影響については、吸水に伴う骨材強度の低下が一因として推測されるが、これについては今後、骨材単独の力学特性について検討していく必要がある。圧縮強度は $40\text{N}/\text{mm}^2$ 以上だが、引張強度の圧縮強度に対する比率は $1/13\sim 1/20$ 、曲げ強度は $1/7\sim 1/10$ であった。静弾性係数 (図-4) は示方書⁵⁾式のほぼ延長線上にプロットされ、圧縮強度 $40\sim 60\text{N}/\text{mm}^2$ に対し $2.0\sim 2.5\times 10^4\text{N}/\text{mm}^2$ であった。これらの値は、一般的な普通コンクリート^{5)、6)}に比べると低く、実施工ではプレストレス導入⁷⁾等の検討を要すると言える。

図-5、6に凍結融解試験結果を示す。吸水率の増加に伴い、相対動弾性係数の低下が顕著に表れ、吸水率の増加は凍害劣化の危険性を高めることが認められた。ここで特筆すべき特徴は、Pwetは骨材の凍結膨張の

表-1 コンクリート配合

吸水率	w/c (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)			混和剤(% / kg/m^3)		
			W	C	S	G	高性能AE 空気連行	
絶乾	35	45	160	457	760	430	0.57	2.5
10%						476	0.40	1.0
20%						511	0.40	1.0
Pwet						538	0.35	0.5

GIは、骨材の絶乾質量と含有水分量の和で算出

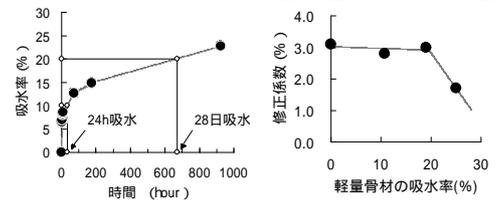


図-1 吸水時間と吸水率

図-2 骨材修正係数(実測)

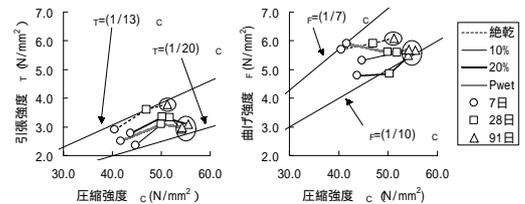


図-3 圧縮強度と引張強度および曲げ強度

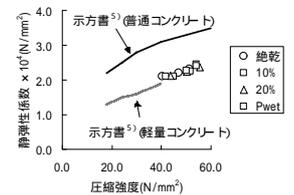


図-4 圧縮強度と静弾性係数

影響で試験直後に供試体が一気に崩壊したのに対し、10%と20%は供試体が崩壊せず経時的に劣化が進行したことがある。骨材の断面組織は空隙が毛細管で連結された連続気泡状態にある。10%と20%の骨材吸水率は絶乾骨材を水中浸漬させて調整しているが、この際の骨材空隙の飽和は気泡径が大きい空隙から順に進行すると考えられ、一部の空隙は飽和されていない可能性がある。すなわち、これら未飽和の空隙が凍結の際に生じる余剰水の逃げ場の役割を果たし、結果的に骨材の膨張崩壊を阻止したと思われる。

耐凍害性確保を条件とした場合における適正な吸水率を図-6から考察すると、部材断面厚さを20cm程度以下に薄くした場合²⁾は12%、一般の場合²⁾は14%で直線が交差した。このことから、吸水率の適正值は、試験をした10~20%間の吸水率の領域に存在すると言える。

図-7に吸水率と急速塩分浸透試験で得た拡散係数との関係を示す。吸水率の増加に伴い、拡散係数は増加する傾向が認められた。塩化物イオンは液体中を移動するため、骨材中の飽和空隙を經由してコンクリート内部へ塩化物イオンが浸透している可能性がある。このことから、骨材に含まれる水分は、塩化物イオンの拡散挙動を荷担する特性を有すると考えられ、吸水率の低下は耐凍害性に加え、塩分浸透の抑制にも効果的と言える。

図-8に長さ変化試験結果を示す。吸水率の増加に伴い、長さ変化率は減少し、質量変化率は増加する傾向を示した。乾燥収縮はペースト水分の蒸発に起因する現象である⁸⁾ことを考えると、結果は矛盾しているように思えるが、この場合は、質量変化率の減少は供試体表面付近の軽量骨材に含まれる水分の蒸発の影響が大きかったこと、長さ変化は供試体内部の骨材に含まれる水分が乾燥を防ぐ役目を果たし、収縮抑制に寄与したことが考えられる。長さ変化率の減少は、材齢56日以降で顕著にみられる。これは、骨材の水分が初期の収縮を遅らせた可能性が高いことから、今後も収縮挙動を把握するため、測定を継続する予定である。

図-9に断熱温度上昇試験結果を示す。吸水率の減少に伴って上昇量は増加した。吸水率が低いケースは、発生した水和熱が骨材の未飽和空隙部に滞留したことが一因と思われるが、吸水率が10~20%領域の温度上昇量は示方書式²⁾に概ね対応すると予想され、上昇特性は通常のコンクリートとほぼ同等と思われる。

4. まとめ

耐凍害性を考慮したときの適正な吸水率は、10~20%の領域に存在すると言える。今後は、頁岩系軽量骨材を使用し、10~20%領域に着目した凍結融解試験を行って吸水率の適正值を明らかにするとともに、吸水率10~20%領域におけるポンパビリティをコンクリート粘性やポンプ長をファクタに検討する予定である。

最後に、太平洋セメント(株)の茂庭孝司氏より貴重な御意見を頂きましたことを付記し、謝意を表します。

参考文献】

- 1 遠藤裕文, 田口史雄, 竹本伸一: 軽量コンクリートの寒冷地への適用性に関する検討, 土木学会第57回年次学術講演会概要集, V-520, pp.1039-1040, 2002.10
- 2 2002制定, コンクリート標準示方書[施工編], pp.29, pp.46, pp.80, pp.81, 土木学会
- 3 吉田行, 田口史雄, 渡辺宏: 粒度を改質したピ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, 第58回土木学会北海道支部論文報告集, pp.836-839, 2002.1
- 4 森大介, 石川雄康, 国府勝郎, 荒井孝文: 人工軽量粗骨材を使用したコンクリートの破壊エネルギー挙動について, 軽量コンクリートの性能の多様化と利用の拡大

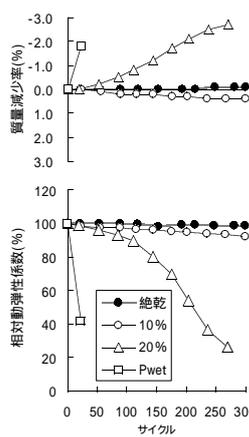


図-5 凍結融解試験結果

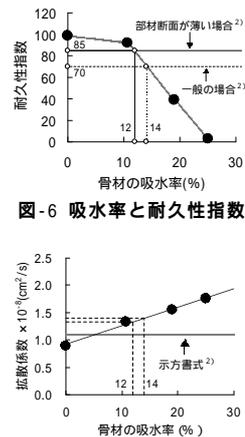


図-6 吸水率と耐久性指数

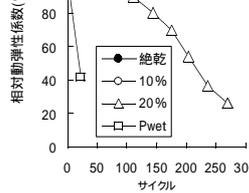


図-7 吸水率と拡散係数

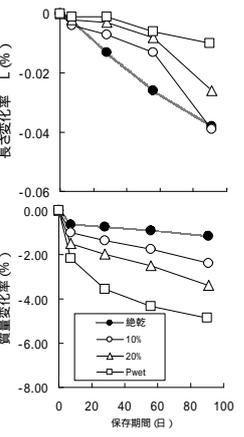


図-8 長さ変化試験結果

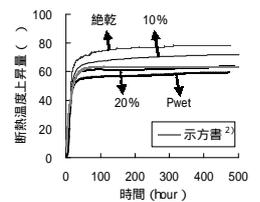


図-9 断熱温度上昇試験結果

に関するシンポジウム論文集, pp.11-16, 日本コンクリート工学協会, 2000.8

5 2002制定, コンクリート標準示方書[構造性能照査編], pp.28, 土木学会

6 日本コンクリート工学協会: コンクリート技術の要点01', pp.61, 2001

7 渡辺博志, 河野広隆, 鈴木雅博, 佐藤重一: 高強度軽量コンクリートを用いたPC部材のせん断強度に関する研究, コンクリート工学論文集, Vol.14, No.1, pp.13-22, 2003.1

8) コンクリート収縮委員会報告書「コンクリートの収縮とコンクリート構造物のひびわれ」, 日本コンクリート工学協会北海道支部, 2001.4