

寒冷地における軽量コンクリートの施工性および品質向上に関する実験報告

ドーピー建設工業株式会社	正会員	○市川	聖芳
独立行政法人土木研究所 寒地土木研究所	非会員	田口	史雄
独立行政法人土木研究所 寒地土木研究所	非会員	遠藤	裕丈
ドーピー建設工業株式会社	正会員	松井	敏二

1. はじめに

軽量コンクリートを用いた土木構造物は、死荷重の軽減による部材断面縮小などの経済効果に加えて、軟弱地盤および基礎工への負担低減など、経済性や耐震性に与えるメリットが大きい。しかしながら一般に吸水率の高い頁岩系の非造粒軽量骨材は、北海道のような寒冷地では耐凍害性に対する懸念が強く使用実績が少ないのが現状である。一方、土木構造物の施工において現場でのコンクリート打設にはポンプ施工が多く用いられるが、軽量コンクリートのポンプ圧送性を確保するためには圧送中の軽量骨材への圧力吸水を考慮して、耐凍害性に影響を及ぼさない範囲であらかじめ軽量骨材を吸水させておく必要がある。ここに耐凍害性と施工性を両立させる配合選定が求められる。

本報告では、過去の実験¹⁾²⁾³⁾で得られた基本配合をもとに、道路橋の主桁や床版など特に靱性や耐久性が要求される構造物への適用を目指して軽量コンクリートに短繊維補強材を混入し、さらに強度確保ならびに経済性を向上させるために粗骨材の一部を砕石に置き換えた場合の材料特性について報告する。

2. 実験内容

これまでに行われてきた実験の流れは以下の通りである。まずはじめに基礎実験として、骨材吸水率が耐凍害性に及ぼす影響について室内実験で検証した。この実験により頁岩系非造粒型軽量骨材の場合、耐久性指数の目標値 80 を確保する骨材吸水率は 10~20%の間に存在することが確認できた¹⁾。次に骨材吸水率を 10~15%に調整して実際にポンプ圧送実験を行い、圧送前後のコンクリートのフレッシュ性状および硬化性状について確認した。その結果、施工性能として水平圧送距離 39m、吐出量 10m³/h、強度耐久性能として材令 28 日圧縮強度 40N/mm²、耐久性指数 85 を満足するには骨材吸水率 15%、圧送後空気量 7%、圧送前スランブフロー値 650±50mm を確保する必要があった²⁾³⁾。これまでの実験で得られた、ポンプ圧送可能な配合を表-1 に示す。

表-1 ポンプ圧送可能配合

圧送条件			配合						
圧送距離 (m)	吐出量 (m ³ /h)	圧送管 (インチ)	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)					混和剤 (P%)
				W	C	ｽﾗｸﾞ	S	G1	
39	10	5	32.8	150	457	80	699	400	1.35

本実験ではこれらの結果を踏まえ、圧送実績のある表-1 の配合を基本配合とし、靱性および耐久性向上のための短繊維混入、ならびに強度確保および経済性を考慮して粗骨材の一部を砕石に置換した配合のフレッシュ性状および硬化性状について表-2 に示す試験を行った。本実験で使用した材料を表-3 に示す。なお軽量骨材は過去の実験で使用したものと同様に、プレウエッティングされた含水品(吸水率約 30%)ではなく耐凍害性に優れた絶乾品に 15%吸水させたものを使用した。

表-2 試験項目

フレッシュ性状試験		硬化性状試験	
スランブフロー試験	JIS A 1150	圧縮強度試験	JIS A 1108
空気量試験	JIS A 1128	静弾性係数試験	JIS A 1149
間隙通過性試験	JSCE-F 512	曲げ強度試験	JIS A 1106
流動性試験	JSCE-F 511	凍結融解試験	JIS A 1148

表-3 使用材料

使用材料	種類	比重 g/cm ³
粗骨材G1	頁岩系非造粒軽量骨材 (Gmax=15mm)	1.25
粗骨材G2	砕石 (Gmax=20mm)	2.67
細骨材S	砕砂	2.68
セメントC	普通ポルトランドセメント	3.16
混和材	高炉スラグ微粉末	2.91
繊維	ビニロン短繊維 径:660μm,長さ:30mm	1.30
混和剤	SP:ポリカルボン酸エーテル系	-
	AE:天然樹脂酸塩	-

本実験に先立ち予備実験として、砕石混

入割合が材料特性に及ぼす影響について検討を行った。碎石混入により強度および耐久性、施工性や経済性が向上することは予想できるが軽量化のメリットを確保するためには混入率は小さい方が望ましい。そこで碎石混入率をパラメータとした圧縮強度および曲げ強度試験を行った。予備実験の配合およびフレッシュ性状を表-4に示す。実験の結果、碎石混入率の増加とともに材令28日圧縮強度および曲げ強度の増進が見られた(図-1)。粗骨材体積の30%を軽量骨材から碎石に置換した場合、単位体積質量は約1.8t/m³から約1.9t/m³となり全体として約5%の増加となるが、材料費など経済性に与える影響の方が大きいと判断し以後の実験では碎石混入のパラメータを0%と30%の2種類とした。

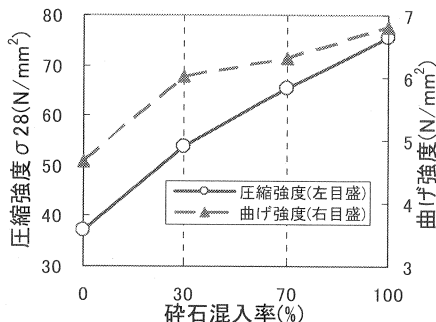


図-1 圧縮強度および曲げ強度 (予備実験)

表-4 予備実験配合およびフレッシュ性状

実験水準		W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)						混和剤 SP (Px%)	スランプフロー (mm)	空気量 (%)						
Case	軽量:碎石			W	C	スラグ	S	G1 (軽)	G2 (砕)									
1	10:0	32.8	46.5	150	457	80	745	400	0	1.80	764	8.5						
2	7:3							334	143				1.75	635	8.0			
3	3:7							191	446							1.70	581	8.4
4	0:10							0	855									

表-5 本実験水準・配合表

実験水準			W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)						混和剤 (Px%)	
Case	軽量:碎石	繊維混入率 (%)			W	C	スラグ	S	G1 (軽)	G2 (砕)	SP	AE
1	7:3	0.50	32.8	46.5	150	457	80	745	334	143	1.15	0.75
2		0.75	32.8	48.2	150	457	80	772	323	139	1.55	0.28
3		1.00	35.1	48.3	150	427	160	751	313	134	1.55	0.76
4	10:0	0.50	32.8	46.5	150	457	80	745	400	-	1.35	0.85
5		0.75	32.8	48.2	150	457	80	772	388	-	1.45	0.60
6		1.00	35.1	48.3	150	427	160	751	375	-	1.65	0.84

予備実験結果を踏まえ、本実験で行った実験水準・配合を表-5に示す。この中でCase3, 6については流動性確保のためにスラグ量を増やしセメント量を減らしている。また短繊維混入率については既往の研究⁴⁾より、普通コンクリートと同等の耐荷性能が確保できるとされている混入率0.5%から0.25%きざみで1.0%までの3水準について検討を行った。

練り混ぜは公称容量100ℓ強制2軸ミキサを用い、練り混ぜ量を60ℓとした。練り混ぜ方法は、粗骨材G→1/2細骨材S→(セメントC+スラグ)→1/2細骨材Sで30秒の空練りを行い、混和剤を含む練り混ぜ水を投入→1分後に短繊維を投入しさらに2分の練り混ぜの後排出した。排出後切り返しを3回行いフレッシュ性状試験を行った。管理値については過去の圧送実験で得られたデータをもとに、スランプフロー650±50mmおよび空気量を8±1%とし、これらを満足する配合について間隙通過性試験および流動性試験(図-2)を行った。本実験における空気量を8%とした点については、過去の圧送実験³⁾において耐凍害性確保の為に必要な空気量7%を参考にし、且つ圧送前空気量に対して圧送後空気量が、圧送管吐出口での圧力解放により1%程度減少した点を考慮している。硬化性状についての目標値は材令28日での圧縮強度を40N/mm²、凍結融解試験については北海道という厳しい寒冷環境を考慮して耐久性指数85とした。

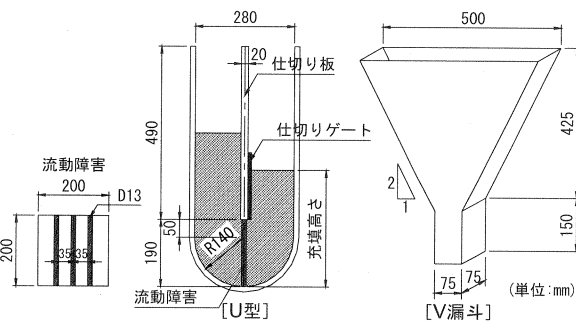


図-2 間隙通過性試験(U型)・流動性試験(V漏斗)

表-6 試験結果

Case	実験水準		フレッシュ性状					硬化性状				
	軽量:碎石	繊維混入率(%)	500mm到達時間(秒)	スランプフロー(mm)	流下時間(秒)	充填高さ(mm)	空気量(%)	圧縮強度(N/mm ²)	曲げ強度(N/mm ²)	静弾性係数×10 ⁴ (N/mm ²)	曲げタフネス(N/mm ²)	耐久性指数
1	7:3	0.50	19.42	548	18.52	259	7.8	48.70	6.04	2.55	1.843	94.3
2		0.75	11.88	650	25.45	262	7.8	44.48	5.96	2.32	1.777	90.0
3		1.00	31.70	616	92.48	188	7.4	49.51	5.55	2.58	2.357	92.4
4	10:0	0.50	14.98	578	29.34	248	7.1	52.65	5.53	2.12	1.863	-
5		0.75	18.88	605	21.88	286	8.2	39.79	5.35	2.25	1.457	-
6		1.00	17.22	578	34.56	277	9.2	28.24	5.40	1.78	2.432	93.9

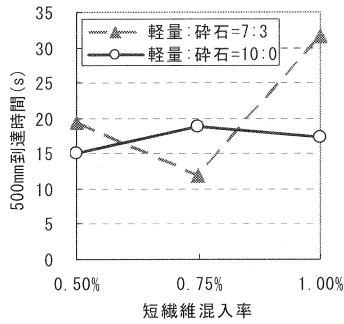


図-3 スランプフロー-500mm 到達時間

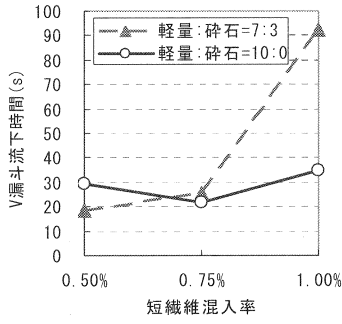


図-4 V 漏斗流下時間

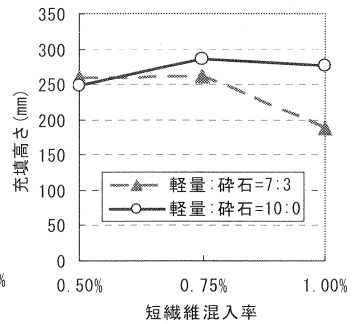


図-5 充填高さ

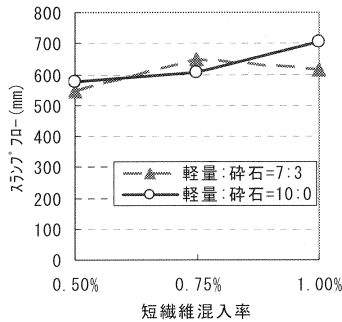


図-6 スランプフロー値

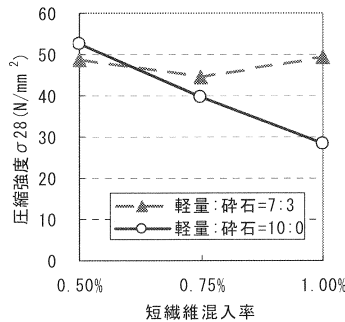


図-7 圧縮強度(本実験)

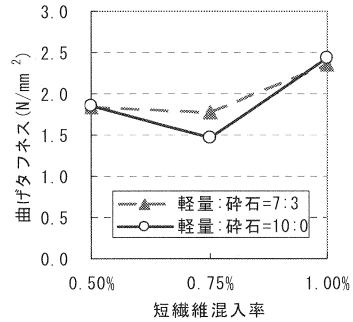


図-8 曲げタフネス

3. 試験結果および考察

試験結果を表-6に示す。はじめにフレッシュ性状について、スランプフロー500mm到達時間(図-3)およびV漏斗流下時間(図-4)については、短繊維混入率0.75%までは碎石混入の有無にかかわらず大きな差は見られなかった。しかし短繊維混入率1%配合に関しては、碎石混入配合(Case3)においていずれも数値が大きくなりフレッシュ性状の差異が見られた。充填高さ(図-5)についても同様の現象が見られ、流動性や間隙通過性については短繊維混入によるフレッシュ性状の変化の影響が大きい結果となった。同程度のスランプフロー値(図-6)を有しているにもかかわらずこのような結果となる主な原因として、軽量骨材と碎石の形状および最大骨材径Gmaxの影響が考えられる。碎石のGmaxは20mmであり軽量骨材のGmax(15mm)に比べて大きく、また形状も角張ったものが多い。逆に軽量骨材については骨材自体は丸みを帯びた形状であった。碎石混入配合では短繊維量の増加とともに骨材との絡まり具合が増し、流動性や間隙通過性を鈍化させたと考えられる。次に硬化性状については、粗骨材が軽量骨材100%の配合(Case4, 5, 6)では短繊維混入率の増加に伴い圧縮強度も低下する傾向が見られた。一方碎石混入配合(Case4, 5, 6)については圧縮強度の低下はほとんど見られず、いずれも目標強度(σck=40N/mm²)を確保する結果が得られた(図-7)。碎石混入配合で強度の低下が見られなかったことから、軽量100%配合における強度低下は短繊維混入率の増加による影響よりもむしろ空気量の影響が大きく作用したものと考えられる。次に曲げタフネスについて図-8に示す。軽量骨材100%配

合および碎石混入配合のいずれも短繊維混入率の増加とともに曲げタフネスは増加しており短繊維混入による靱性向上への効果が確認できた。最後に凍結融解試験結果を図-9に示す。試料採取の都合上、碎石混入配合(Case1, 2, 3)および軽量100%配合のうち短繊維混入率1.0%配合(Case6)において試験を実施したが、いずれも目標値(DF85)を満足する結果を得た。

4. まとめ

碎石および短繊維を混入した軽量コンクリートのフレッシュ性状および硬化性状についていくつかの実験を行い、以下の結果を得た。

- 1) 本実験で使用した軽量コンクリートにおいては、短繊維無混入の配合において粗骨材の一部を碎石に置換することにより圧縮強度および曲げ強度を向上させることが出来た。
- 2) 本実験におけるフレッシュ性状と短繊維混入率の関係については、短繊維混入率が1%になると流動性や間隙通過性などのフレッシュ性状の差異が大きくなる傾向が見られた。
- 3) 本実験における圧縮強度試験結果については空気量の影響が大きく作用した可能性が高く、短繊維混入率の違いによる顕著な違いは見られなかった。
- 4) 短繊維混入率の増加に伴い軽量100%配合および碎石30%配合ともに靱性は向上する傾向が見られた。
- 5) 凍結融解試験については碎石混入配合については全ての配合において、また軽量100%配合においては短繊維混入率1%配合において耐久性指数85以上を確保できた。

5. 今後の課題

今後はこれまでの実験結果を踏まえ、実際にポンプ圧送性試験を行い室内実験で得られた結果の妥当性を確認するとともに、碎石および短繊維混入配合における圧送可能な配合の選定を行い圧送前後の材料特性について検証を行う。これと同時に経済性に対する検討を行い、寒冷地における軽量コンクリートの現場施工実績を目指す。

【謝辞】

最後に、本実験にご協力・ご指導戴きました太平洋マテリアル(株)茂庭孝司氏、東邦コンサルタント(株)、(株)クラレ、(株)ポゾリス物産の関係各位に対して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 遠藤裕丈・田口史雄・竹本伸一・松井敏二:頁岩系軽量骨材の吸水率が軽量コンクリートの耐久性及び物性に及ぼす影響,第58回土木学会年次学術講演会講演概要集,2003.9
- 2) 遠藤裕丈・田口史雄・竹本伸一・松井敏二:耐凍害性を考慮した軽量コンクリートのポンプ圧送性に関する基礎的研究,第59回土木学会年次学術講演会講演概要集,2004.9
- 3) 遠藤裕丈・田口史雄・竹本伸一・松井敏二:頁岩系非造粒軽量骨材を用いたコンクリートのポンプ圧送性と耐凍害性,第60回土木学会年次学術講演会講演概要集,2005.9
- 4) 三上 浩・岸 徳光・栗橋佑介・竹本伸一:せん断破壊型軽量コンクリート製RC梁の耐衝撃性に及ぼすPVA短繊維混入率の影響,土木学会構造工学論文集 Vol.52A(2006年3月)

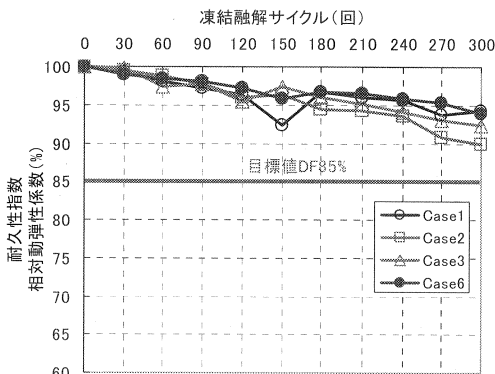


図-9 凍結融解試験結果