

使用済み碓子のコンクリート用細骨材としての有効利用に関する研究

神戸市立工業高等専門学校都市工学科 教授 水越睦視

1. 研究の背景および目的

近年、日本では科学技術が発展し生活が豊かになると共に様々な構造物が建造されている。その一方で維持費の面や安全性の面から壊されている構造物も多い。その一つとしてコンクリート製の電柱がある。

また、電柱に付属して電線に取り付けられている碓子についても、電柱のコンクリートと同様にリサイクルする必要がある。碓子とは電線と電柱等の支持物との間の絶縁用器具であるが、廃棄される碓子は、毎年1万トンを超え、そのうちの50%程度が最終処分されてきた。廃碓子は、建設用骨材としてのリサイクルが検討されており、碓子を粉砕して細骨材とする技術は開発されている¹⁾²⁾。路盤材やブロック・エクステリア等のモルタルでの再利用例がみられるが、大量かつ継続的に利用するためには、コンクリート用細骨材としての利用が有効である。また、碓子は硬度が大きいことから、コンクリートのヤング係数の向上が期待できる。しかし、廃碓子をコンクリートに使用した場合の報告はなく、角張った粒子形状や小さい吸水率から、コンクリートの材料分離が懸念されるなど、碓子のコンクリートへの適用性はまだ明確にされていない。よって、廃碓子細骨材(CWS)の使用量の決定など、最適なコンクリート配合を確立し、基本的な力学的特性について把握する必要がある。

本研究では、CWSを用いた普通コンクリート(CWS-NC)および軽量コンクリート(CWS-LC)の配合試験を行い、ワーカビリティ、ブリーディング等のフレッシュ特性を確認し、最適配合を決定し、各種強度等の硬化コンクリートの特性を明らかにすることで、廃碓子の大量かつ継続的なリサイクル手法を実現することを目的としている。さらに、CWS-LCを鋼管内に充填した新しいCFT構造(CWS-L-CFT)の対称4点曲げ載荷実験を行い、CWS-L-CFTの曲げ強度の算定手法について検討した。

2. コンクリートの基本特性に関する実験

2.1 実験概要

2.1.1 使用材料

実験に用いた材料およびそれらの物理的性質を表2-1に示す。ここで、細骨材には使用済み碓子を粉砕し、粒度調整した廃碓子細骨材(CWS)を使用した。碓子の構成材料を表2-2に、碓子の化学成分を表2-3に、碓子の主な物性を表2-4に示す。また、CWSの粒度曲線を砕砂と併せて図2-1に示す。CWSは、吸水率が0.79%と小さく、粗粒率は3.42と汎用的な砕砂に比べて大きく、粒径1.2mm以上の粗い粒子が多く、この範囲において砕石の標準粒度範囲の下限值から外れている。また、碓子は硬く、すり減り減量も小さいことから、コンクリートに使用した場合、コンクリートの静弾性係数の向上が期待でき、すり減り現象が生じる舗装やキャビテーションが起こる水理構造物に使用した場合に効果が発揮させる可能性を有している。一方で、吸水率が小さく、粗い粒子も多いことから、ブリーディングの増大や材料分離の発生には留意が必要である。

表 2-1 使用材料

水	W	水道水(密度:1.00g/cm ³)
セメント	C	普通ポルトランドセメント(密度:3.15g/cm ³ , 粉末度:3390cm ² /g)
フライアッシュ	FA	JISⅡ種(密度:2.24g/cm ³ , 粉末度:3810cm ² /g)
細骨材	S	碓子(使用済み・再生細骨材) (表乾密度:2.41g/cm ³ , 粗粒率:3.42, 吸水率:0.79%)
粗骨材 ①	G①	碎石, 大阪府高槻産, 硬質砂岩系 (表乾密度:2.71g/cm ³ , 粗粒率:6.73, 吸水率:0.68%, 最大寸法20mm)
粗骨材 ②	G②	構造用人工軽量粗骨材, 膨張頁岩系 (表乾密度:1.68g/cm ³ , 絶乾密度:1.31g/cm ³ , 粗粒率:6.37, 最大寸法:15mm, 吸水率:28.5%)
混和剤①	AEWR	AE減水剤高機能タイプ, ポリカルボン酸系
混和剤②	SP	高性能AE減水剤, ポリカルボン酸系
混和剤③	AE	AE剤, 樹脂酸系界面活性剤, 高級樹脂酸系界面活性剤(FA使用時)

表 2-2 碓子の構成材料

陶石	長石	珪石	粘土
磁器の原料 SiO ₂ が80%	造岩鉱物 Si、O	石英 チャート	カオリナイト等

表 2-3 碓子の化学成分

Si	Al	K	Na	Ca	Ti	その他
70～80%	20～30%	1%	1%	微量	微量	微量

表 2-4 碓子の主な物性

単位容積質量	すりへり減量	モース硬度
1.7～2.5g/cm ³ 程度	20%程度	7～8

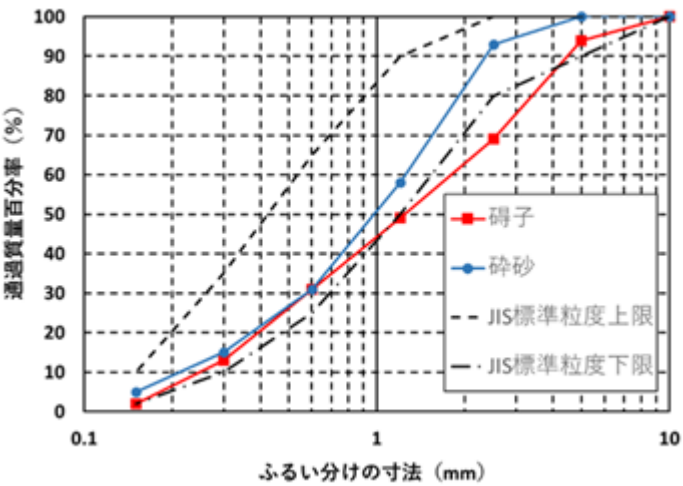


図 2-1 使用した CWS の粒度曲線

2.1.2 コンクリートの示方配合

CWS を用いた普通コンクリート（CWS-NC）の示方配合を表 2-5 および表 2-6 に示す。細骨材全体に CWS，粗骨材は碎石を用いている。フレッシュ試験では，細骨材を碇子 100%に統一し，主に材料分離の有無を念頭にスランプ，空気量，練上り温度を測定しフレッシュ性状を確認した。

表 2-5 では，W/C は 50%に統一し，s/a のみを変化させた場合の配合である。ここでは s/a のみを変化させた場合のフレッシュ性状を確認し，最適 s/a を定めることを目的とした。

普通コンクリートでは，表 2-6 に示すように普通強度であるが耐久性の高い構造物への適用を考え，CWS-NC の W/C は 40%から 55%の範囲で検討した。また，CWS を細骨材全量に用いた場合，セメント量の少ない貧配合では材料分離が生じることも考慮し，W/C=55%以下で配合試験を実施した。また，材料分離が特に懸念される W/C が 50%および 55%の配合では，コンクリート材料分離抵抗性を向上させる目的でフライアッシュ（FA）を使用した配合の実験も行った。ここで，目標スランプ $10 \pm 2.5\text{cm}$ ，目標空気量 $4.5 \pm 1.5\%$ に設定した。

表 2-5 最適 s/a の検討に用いた CWS-NC の示方配合

空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				C×(%)	Aの数
			W	C	S(CWS)	G	SP	AE
4.5	50	46	175	350	740	978	0.5	1
		50			805	905		
		54			870	832		

注) AE 剤 : $1A = C \times 0.02\%$

表 2-6 CWS-NC の示方配合

空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					C×(%)	Aの数
			W	C	FA	S(CWS)	G①	AEWR	AE
4.5	40	48	165	413	-	762	930	1.0	0.5
	45	49	165	367		795	930	1.0	1.0
	50	50	165	330		827	927	1.0	1.0
	55	51	165	300		853	924	1.0	0.5
	50	50	165	330	20	815	916	1.0	2.0
	50	50	150	300		846	949	1.0	2.0
	55	51	165	300		844	911	1.0	2.0

注) AE 剤 : $1A = C \times 0.02\%$

CWS を用いた軽量コンクリート（CWS-LC）の示方配合を表 2-7 に示す。軽量コンクリートでは，高強度コンクリートへの適用を考え，CWS-LC の W/C は 28%から 33%の範囲で検討した。これは，軽量コンクリートでは，密度の小さい軽量粗骨材が上面に浮き上がることにより，材料分離を生じる可能性が普通コンクリートよりも高いと考え，セメント量の多い高強度コンクリート配合とした。また，軽量コンクリートでは，W/C を小さくすることにより，ある程度，高強度化はできるが静弾性係数は小さいという欠点

を有している。碍子は硬度が高いことから、コンクリートに細骨材として全量使用した場合、コンクリートの静弾性係数を向上させる効果が期待できるのではと考えられる。このような観点から、高強度コンクリートに着目した。ここで、目標スランプ $23\pm 2.0\text{cm}$ 、目標空気量 $5.0\pm 1.5\%$ に設定した。ここで、軽量コンクリートの骨材修正係数は 1.0% とした。

表 2-7 CWS-LC の示方配合

空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)				C×(%)	Aの数
			W	C	S(CWS)	G②	SV	AE
5.0	28	46	165	589	663	543	1.0	2
		46		589	663	543	1.3	2
	33	47		500	709	558	1.0	2
	38	48		434	750	564	1.0	1.5

*AE剤： $1A = C \times 0.002\%$

2.1.3 試験項目および試験方法

本実験で実施した試験項目とその試験方法を表 2-8 に示す。コンクリートの練混ぜは、パン型強制練りミキサを用い、セメント、フライアッシュ、細骨材、粗骨材を投入後、30 秒間の空練りを行い、水と混和剤を投入して AE 減水剤 (AEWR) を用いた普通コンクリート (CWS-NC) では 90 秒間、高性能 AE 減水剤 (SP) を用いた軽量コンクリートでは 120 秒間の本練り後にコンクリートを排出した。供試体はフレッシュコンクリート (CWS-LC) 試験を行い、フレッシュ性状を確認した後に作製し、脱型は翌日に行い、脱型後 20°C の恒温水槽にて標準養生を行った。各種強度試験は材齢 28 日を基準に行い、適宜、短期、長期の強度を測定した。

表 2-8 試験項目と試験方法

試験項目	試験方法
スランプ	JIS A 1101 コンクリートのスランプ試験方法
空気量	JIS A 1128 フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法
圧縮強度	JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法
静弾性係数	JIS A 1149 コンクリートの静弾性係数試験方法
割裂引張強度	JIS A 1113 コンクリートの割裂引張強度試験方法
ブリーディング	JIS A 1106 コンクリートの曲げ強度試験方法
凝結	JIS A 1147 コンクリートの凝結時間試験方法

2.2 コンクリートの基本特性に関する試験結果および考察

2.2.1 フレッシュ試験結果

CWS-NC のフレッシュ試験結果を表 2-9 および表 2-10 に示す。表 2-9 では、すべての配合で材料分離は生じず、フレッシュ性状としてはどれも良好なものであった。その中でも $s/a=50\%$ と $s/a=54\%$ の配合は目標スランプの範囲内に位置しているが、 $s/a=54\%$ の配合はスランプ試験時にくずれが生じ、ワーカビリティは良好ではないと考えられた。以上より、 $W/C=50\%$ における最適細骨材率は $s/a=50\%$ と判断された。

表 2-10 において FA を使用していない配合に着目すると、 $W/C=45\%$ でスランプが目標範囲より小さくなった原因は、 $W/C=50\%$ で所要のスランプが得られていることから推察は難しいが、 $W/C=45\%$ および 50% の両方とも目視観察ではあるが明らかな材料分離は生じていなかった。しかし、 $W/C=50\%$ では、やや材料分離傾向が認められた。一方で、 $W/C=55\%$ においてスランプが 4.0cm と小さくなった原因としては、コンクリートの目視観察から材料分離が原因であると考えられた。このことから、CWS-NC における $W/C=50\%$ 以上の配合では、材料分離が懸念されることがわかった。

そこで、 $W/C=55\%$ においてセメント量は変化させず、セメントの外割で CWS の一部として FA を 20kg/m^3 使用した。この FA を使用した $W/C=55\%$ の配合では、スランプ 11.5cm と目標スランプの範囲内に収まった。以上のことから、ワーカビリティの改善に FA の使用は有効であることが確認された。これは、FA のボールベアリング効果によるものであると考えられる。

また、FA を使用した $W/C=50\%$ の配合において、単位水量が 165kg/m^3 の配合では目標スランプの範囲外となったが、単位水量を 150kg/m^3 減らすことで目標スランプを得ることができた。以上のことから、単位水量を調節することでスランプを調節できることが確認された。

表 2-9 最適 s/a 試験におけるフレッシュ試験結果

空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	混合割合(%)	C×(%)	Aの数	試験結果			
			碍子 S	SP	AE	スランプ (cm)	空気量 (%)	練上り温度 (°C)	単位容積質量 (kg/m^3)
4.5	50	46	100	0.5	1	9.0(くずれ)	4.2	24.1	2390
		50				9.0	4.2	23.7	2233
		54				6.5	5	23.6	2250

表 2-10 CWS-NC のフレッシュ試験結果

空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)					C×(%)	Aの数	フレッシュコンクリートの試験結果		
			W	C	FA	S(CWS)	G①			スランプ (cm)	空気量 (%)	練上り温度 (°C)
4.5	40	48	165	413	-	762	930	1.0	0.5	8.5	4.9	21.4
	45	49	165	367		795	930	1.0	1.0	6.0	6.2	17.6
	50	50	165	330		827	927	1.0	1.0	11.0	4.2	16.7
	55	51	165	300		853	924	1.0	0.5	4.0	5.9	17.6
	50	50	165	330	20	815	916	1.0	2.0	19.0	4.8	16.4
	50	50	150	300		846	949	1.0	2.0	12.5	5.6	16.0
	55	51	165	300		844	911	1.0	2.0	11.5	4.8	17.6

CWS-LC のフレッシュ試験結果を表 2-11 に示す。表より、目標スランブを得るために W/C=28%では、高性能 AE 減水剤の添加率を 1.0%から 1.3%に増やしたが、W/C=33%, 38%では、高性能 AE 減水剤の添加率は 1.0%で目標スランブを得ることができた。高強度領域における軽量コンクリートは、CWS を使用した場合でも良好なフレッシュ性状が得られることが確認された。

表 2-11 CWS-LC のフレッシュ試験結果

空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				C× (%)	Aの数	フレッシュコンクリートの試験結果			
			W	C	S(CWS)	G②			スランブ (cm)	スランブ フロー	空気量 (%)	練上り温度 (°C)
5.0	28	46	165	589	663	543	1.0	2	19.5	31.0×29.0	3.7	13.7
		46		589	663	543	1.3	2	22.5	33.0×32.0	3.6	13.4
	33	47		500	709	558	1.0	2	23.5	42.0×41.0	5.8	13.0
	38	48		434	750	564	1.0	1.5	24.0	40.0×40.0	4.5	12.6

*AE剤：1A=C×0.002%

2.2.2 ブリーディングおよび凝結特性

ブリーディングおよび凝結試験に用いた CWS-NC の配合とフレッシュ試験結果を表 2-12 に示す。対象とした配合は、材料分離の傾向がみられた W/C=55%とし、FA の使用の有無によるブリーディングおよび凝結の差異に着目した。今回の試験時の室温を図 2-2 に示す。実験を行っている際の室温が 10°Cを下回っていたため、FA を使用したコンクリートのスランブは目標範囲より大きくなったが、FA を使用していないコンクリートでは所用のスランブが得られた。FA の影響を検討すること目的としていたため、単位水量および AE 減水剤量は統一し、ブリーディング試験、凝結試験を実施した。

ブリーディング試験の結果を図 2-3 に示す。ブリーディング量およびブリーディング速度は、FA を使用していない配合の方が大きくなっている。特に、最初の 60 分までのブリーディング量の増加が著しく、フレッシュコンクリートに材料分離が生じている可能性を示唆している。FA を 20kg/m³ 使用することで、60 分までのブリーディング量は約 20%に抑制されることが確認された。このことから、FA を使用することで、初期のブリーディングと材料分離を抑制できることがわかった。しかしながら、FA を使用した配合でも、最終のブリーディング量は 0.45cm³/cm² と比較的多くなっている。JASS5 では水密コンクリートのブリーディング量は 0.3cm³/cm² 以下とすることが規定されている³⁾。この上限値によると、今回は、10°C以下と厳しい試験条件での結果ではあるが、FA を使用した配合でも冬期の施工に CWS-NC を使用する場合は留意が必要であることがわかる。

凝結試験の結果を図 2-4 に示す。図中の点線は、貫入抵抗値 3.5N/mm² 時の時間を始発、28.0 N/mm² 時の時間を終結として示している。図より、FA を使用しない配合の始発時間は 18.6 時間、20.2 時間であり、20°C程度での始発時間に比べるとかなり遅延していることがわかる。また、FA を使用することにより、1.5 時間程度の凝結遅延が生じた。これは、FA を使用した配合の方が、ブリーディングが 2 時間、長く続いた図 3-2 の結果を説明するものである。

以上より、W/C=55%の CWS-NC では、FA を用いることで初期の材料分離を抑制できるが、6°C～10°C程度の環境では、その後の初期養生には留意が必要であることがわかる。

表 2-12 ブリーディングおよび凝結試験に用いた CWS-NC のフレッシュ性状

空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					C×(%)		Aの数	フレッシュコンクリートの試験結果		
			W	C	FA	S	G	AEWR	AE		スランブ (cm)	空気量 (%)	練上り温度 (℃)
	55	51	165	300	-	853	924	1.0	0.5		10.5	4.7	9.7
	55	51	165	300	20	844	911	1.0	2.0		18.0	6.0	9.6

※AE剤: 1A=C×0.002%

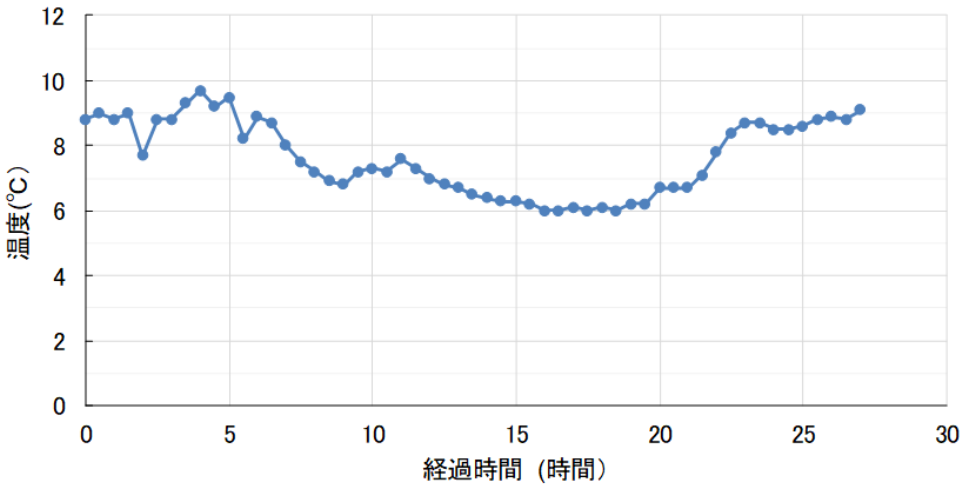


図 2-2 凝結試験時の試験室温度の経時変化

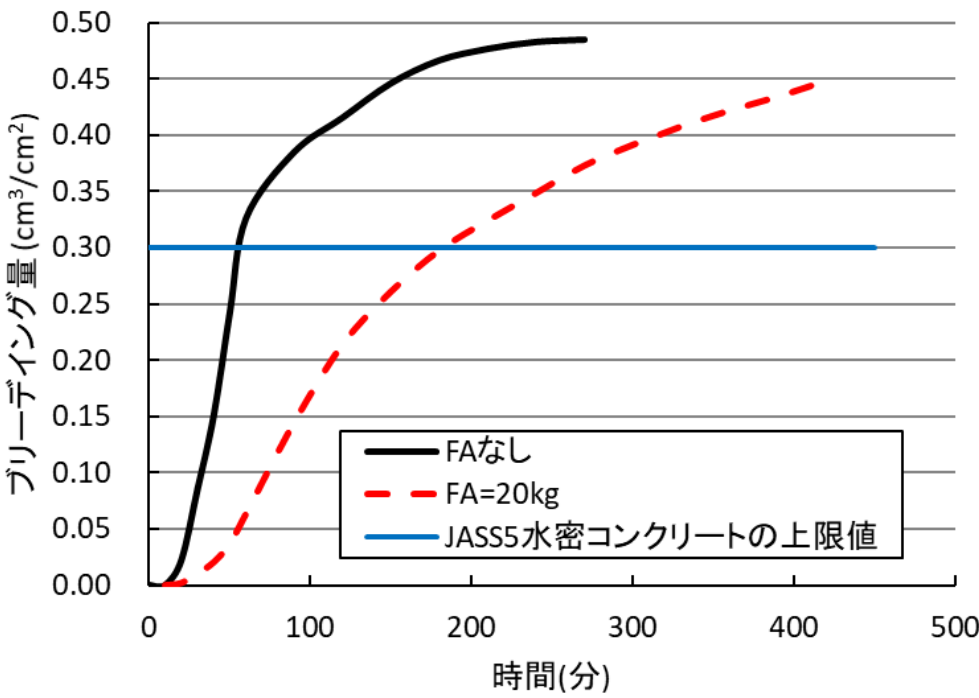


図 2-3 CWS-NC のブリーディング量

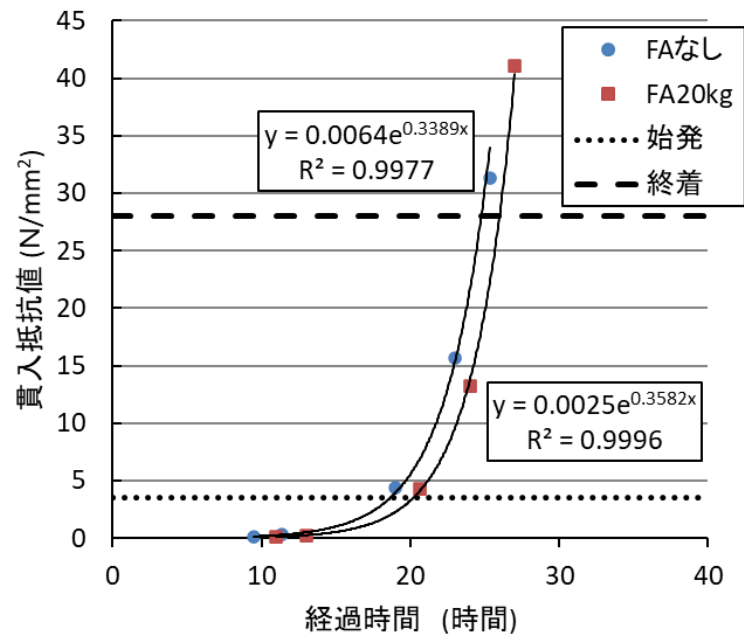


図 2-4 CWS-NC の凝結時間

2.2.3 圧縮強度特性

CWS-NC の圧縮強度とセメント水比 (C/W) の関係を本実験室で 2017 年度に実施した砕砂を用いた普通コンクリート (NC) のデータ⁴⁾と併せて図 2-5 に示す。図より、FA を使用していない CWS-NC の C/W と圧縮強度の関係は、NC と同様に線形関係が認められる。しかし、NC の直線の傾きに比べて大きくなった。これは、W/C=50%、55%の配合は材料分離傾向にあり、材料分離による圧縮強度の低下が原因であると考えられる。そこで、FA を 20kg/m³使用した配合に着目すると、圧縮強度が向上する傾向が確認された。

以上より、W/C=50%以上で碁子を普通コンクリートの細骨材全量に使用する場合、FA を 20kg/m³使用することは、材料分離ひいては圧縮強度の確保に有用であると考えられる。

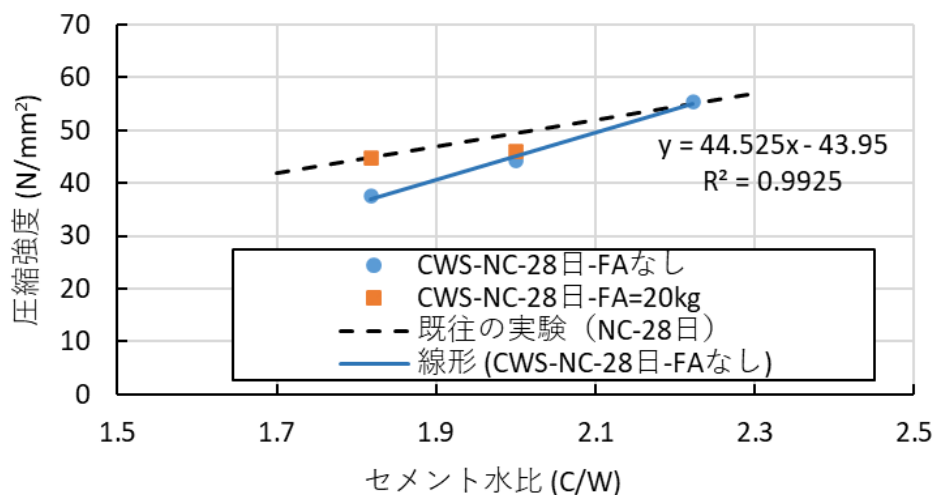


図 2-5 CWS-NC の圧縮強度と C/W の関係

CWS-LC の圧縮強度と C/W の関係を本実験室で 2017 年度に実施した細骨材、粗骨材ともに軽量骨材を用いた軽量コンクリートⅡ種 (LC2) のデータ⁴⁾と併せて図 2-6 に示す。また、本実験で作成した碍子を使用した軽量コンクリートの単位容積質量を表 3-5 に示す。全ての材齢において CWS-LC の C/W と圧縮強度の関係は、NC と同様に線形関係が認められた。また、LC2 の軽量細骨材全量を碍子細骨材に置き換えた場合、圧縮強度は大きくなることが確認された。しかし、軽量細骨材を碍子に置き換えていることから、単位容積質量に差異が生じていることが表 2-13 からわかる。表 3-5 から、CWS-LC の単位容積質量の平均は 1960.7kg/m^3 であり、JASS5 で規定されている LC2 の範囲である $1400\text{kg/m}^3\sim 1800\text{kg/m}^3$ に比べて、約 10~30%、大きくなった。しかし、NC に比べると約 15% 軽く、圧縮強度も 60N/mm^2 、 70N/mm^2 レベルの高強度が得られることがわかった。

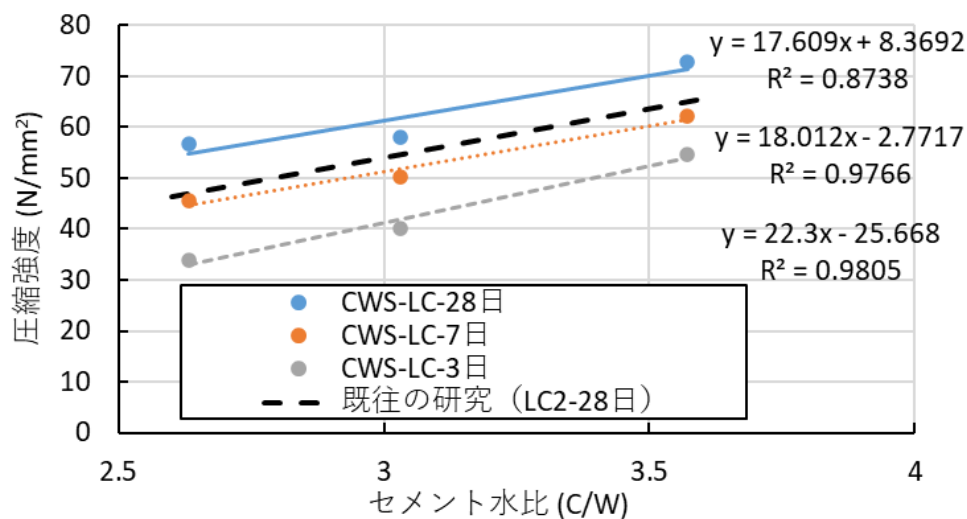


図 2-6 CWS-LC の圧縮強度と C/W の関係

表 2-13 CWS-LC の単位容積質量

空気量	W/C	単位容積質量 (kN/m^3)	平均 (kN/m^3)
5.0	28	1995	1960.7
	33	1932	
	38	1955	

2.2.4 静弾性係数と圧縮強度の関係

CWS-NC の静弾性係数と圧縮強度の関係を本実験室で 2017 年度に実施した NC のデータ⁴⁾、土木学会コンクリート標準示方書の値⁵⁾と併せて図 2-7 に示す。図より、CWS-NC では NC に比べて静弾性係数は大きくなり、細骨材全量に CWS を使用することで静弾性係数を向上させることがわかった。

CWS-LC の静弾性係数と圧縮強度の関係を本実験室で 2017 年度に実施した LC2 のデータ⁴⁾、土木学会コンクリート標準示方書の値⁵⁾と併せて図 2-8 に示す。軽量コンクリートも普通コンクリートと同様に、CWS

を使用することでコンクリートの静弾性係数を向上させることがわかった。さらに、軽量コンクリートは普通コンクリートに比べ、静弾性係数の向上が顕著であったことが確認された。このことから、軽量コンクリートにCWSを使用することは、静弾性係数が向上するという観点のみで考えても非常に有用であるといえる。

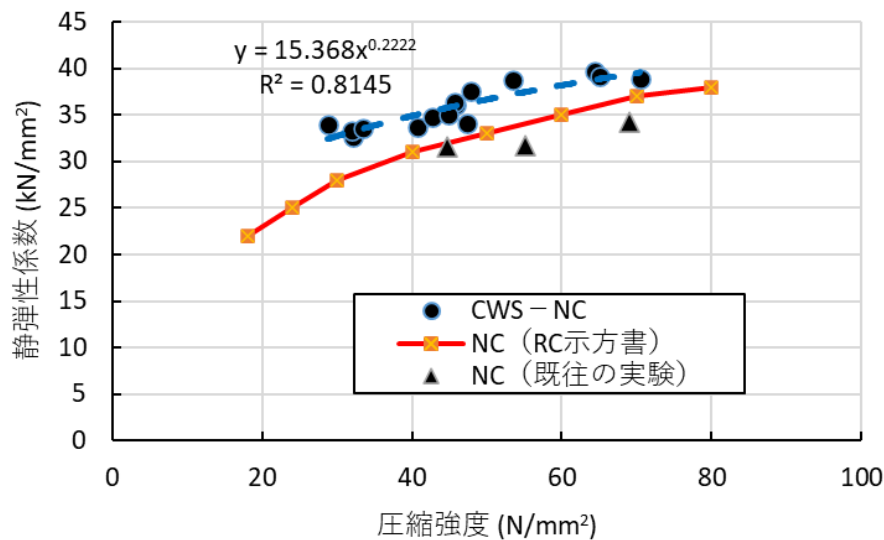


図 2-7 CWS-NC の静弾性係数と圧縮強度の関係

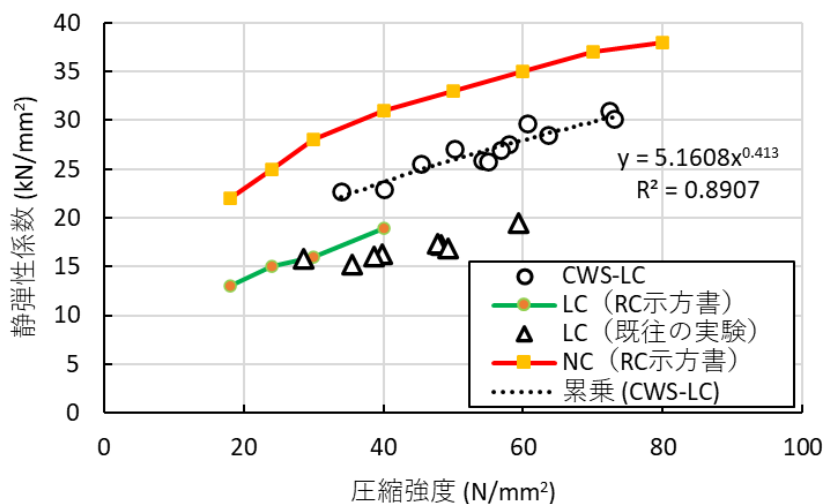


図 2-8 CWS-LC の静弾性係数と圧縮強度の関係

2.3 まとめ

廃碍子細骨材 CWS をコンクリートに用いた実験により得られた結論を示す。

- 1) CWS を細骨材全量に用いた普通コンクリート (CWS-NC) において、W/C=50%以上の配合では材料分離が生じる可能性が高い。材料分離を生じさせず、ワーカビリティを改善するためにはセメントの外割でFAを20kg/m³用いることが有効である。
- 2) W/C=55%のCWS-NC配合において、FAを使用することで、初期のブリーディングと材料分離を

抑制できることがわかった。しかし、FAを使用した配合でも6~10°C程度の環境ではブリーディング量は大きくなり、FAを用いることで1.5時間程度の凝結遅延が生じるため、CWS-NCの初期養生には留意が必要である。

- 3) 材料分離が生じないCWS-NCのW/C=45%配合では、NCと同等の圧縮強度が得られた。一方で、材料分離が生じたW/C=50%、55%の配合でも、FAを使用することで、圧縮強度はNCと同等の圧縮強度まで改善されたことがわかった。
- 4) CWSを使用することで、普通コンクリート、軽量コンクリートともに静弾性係数の向上が見られ、特に軽量コンクリートはその向上が顕著であった。

3. 充填鋼管に関する実験

3.1 はじめに

本章では、細骨材100%を碍子に置き換えた軽量コンクリートCWLを正方形鋼管に充填したCWL-CFTの曲げ特性について述べる。さらに、従来のCFT部材⁶⁾の重要な変数である幅厚比(B/t)が曲げ特性に与える影響について、実験的に考察することを目的とする。

3.2 実験方法

荷重方法を図3-1に示す。供試体のスパン長は900mmであり、対称4点曲げ荷重方法により、曲げモーメント図、せん断力図は図3-1の通りとなる。鋼管の幅、および高さは100mmであるため、せん断スパン比はおおむね4を確保している。

つぎに、供試体一覧を表3-1に示す。充填材はNC: 普通コンクリート、LC2: 軽量2種コンクリート、およびCWL: 細骨材を使用済み碍子に置き換えた軽量コンクリートの3種類である。この3種類の充填材料がCFTの曲げ特性に与える影響について検討した。

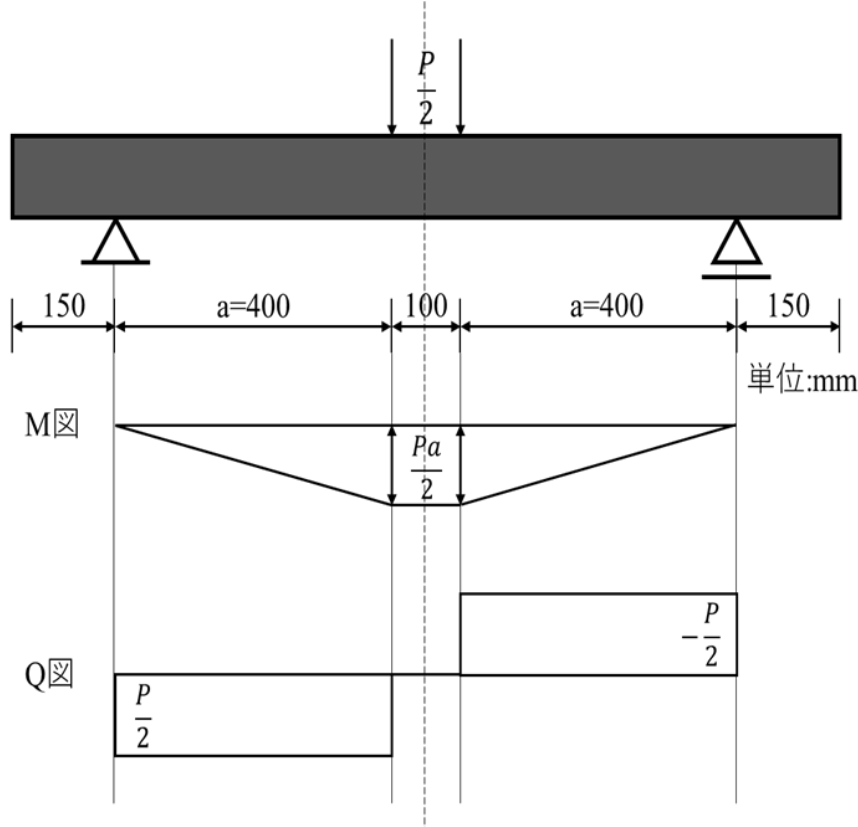


図3-1 荷重方法と断面力図

表 3-1 供試体一覧

No.	Tag	Steel tube				Concrete	
		$B(=D)$ (mm)	t (mm)	B/t	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)	Type
1	NC-23	100	2.3	43.5	354	471	Normal
2	NC-32		3.2	31.3	478	515	
3	NC-45		4.5	22.2	362	454	
4	LC2-23		2.3	43.5	354	471	Lightweight
5	LC2-32		3.2	31.3	478	515	
6	LC2-45		4.5	22.2	362	454	
7	CWL-23		2.3	43.5	354	471	Ceramic waste lightweight
8	CWL-32		3.2	31.3	478	515	
9	CWL-45		4.5	22.2	362	454	

3.3 実験結果と考察

3.3.1 破壊形式

図 3-2 より、充填材料の影響を受けることなくすべての供試体においてスパン中央付近で局部座屈が破壊形式としてみられた。また、すべての供試体において鋼管の圧縮ならびに引張降伏はみられたが、鋼管の破断は見られなかった。

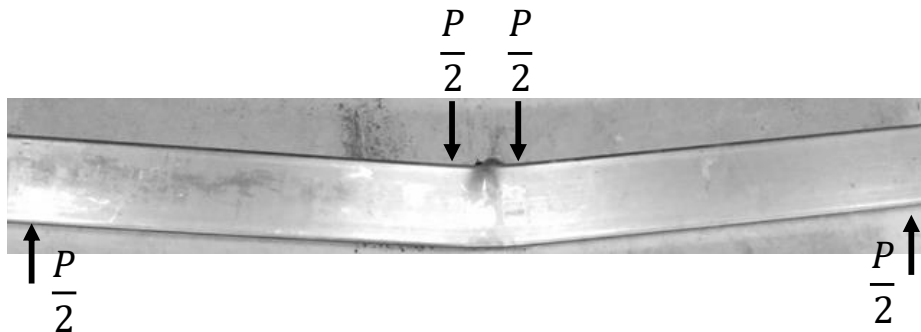


図 3-2 破壊形式(NC-45)

3.3.2 曲げ強度

図 3-3 に鋼管 CFT の断面、ならびに終局状態における鋼管とコンクリートの応力状態を示す。

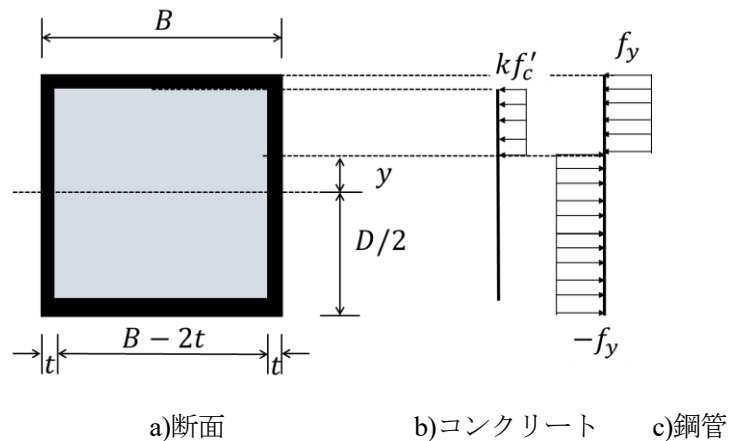


図 3-3 鋼管の断面と応力状態

図 3-3 の応力状態により，軸力(N_u)ならびに曲げモーメント(M_u)は以下の通りに表される．

$$N_u = -4f_y t y + k f_c' (B - 2t) \left(\frac{D}{2} - t - y \right) \quad (1)$$

$$M_u = \frac{1}{2} k f_c' (B - 2t) \left(\frac{D}{2} - t - y \right)^2 + f_y t B (D - t) + 2 f_y t \left\{ \left(\frac{D}{2} - t \right)^2 + y^2 \right\} \quad (2)$$

ここで， f_y : 鋼管の降伏強度， f_c' : コンクリートの圧縮強度， t : 鋼管厚， D : 鋼管高さ， B : 鋼管幅， $k=0.85$ である． $N_u=0$ となる図心軸からの距離 y を求め，式(2)に代入することにより，純曲げモーメント(M_u)を求めることができる．

図 3-4 に算定曲げ強度と実験強度との関係を示す．同図より，相対比(M_{exp}/M_u)=1.08，相関係数 $r=0.87$ となり，算定曲げ強度は実験強度を精度よく評価していることがわかる．つぎに，図 3-5 に曲げ強度比(M_{exp}/M_u)と鋼管の幅厚比(B/t)の関係を示す．同図より，幅厚比が大きくなっても顕著な曲げ強度比の低下は見られないことがわかる．

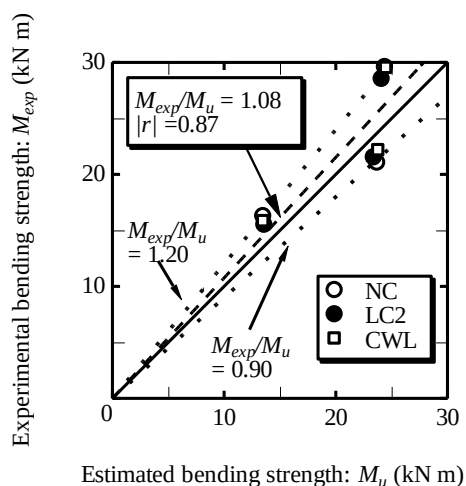


図 3-4 算定曲げ強度と実験強度

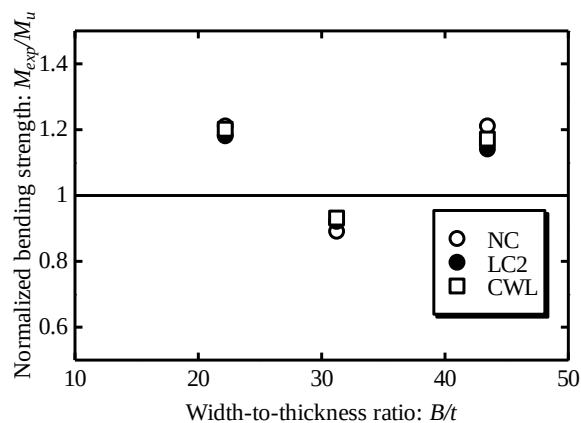


図 3-5 曲げ強度比(M_{exp}/M_u)と幅厚比(B/t)

3.4 まとめ

- 1) 破壊は、鋼管が降伏した後に局部座屈が生じる形式であった。また、充填材料が破壊形式に及ぼす影響は見られなかった。
- 2) $Nu=0$ の算定曲げ強度(μ)を計算したところ、充填材料の影響を受けることなく算定曲げ強度は実験曲げ強度を相対比(M_{exp}/μ)=1.08, および相関係数 $r=0.87$ となり、算定曲げ強度(μ)は、実験曲げ強度(M_{exp})を 0.9～1.2 倍の範囲で評価することがわかった。

参考文献

- 1) Hiroshi Higashiyama, Manote Sappakittipakorn, Mutsumi Mizukoshi and Osamu Takahashi : “Characteristics of Chloride Diffusion and Porevolume in Ceramal Waste Aggregate Mortar Containing GGBS” , International Journal of GEOMATE, , Vol. 11, Issue 26, pp.2568-2575, Oct. 2016.
- 2) 橋野大智：コンクリート・碍子再生骨材のコンクリートへの適用性に関するモルタル実験，神戸市立工業高等専門学校卒業論文，2020.2.
- 3) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事，pp.575～578，2009.
- 4) 大山久美子：軽量コンクリート 2 種の強度特性に関する研究，神戸市立工業高等専門学校卒業論文，2018.3.
- 5) 土木学会：2017 年制定コンクリート標準示方書[設計編]，2018.3.
- 6) 日本建築学会:コンクリート充填鋼管構造設計施工指針，2008.10.