

# ゴムチップの混入量が廃棄物を多量に含んだコンクリートの強度に及ぼす影響

芝浦工業大学 学生会員 ○山下 大道  
 東京大学大学院 学生会員 マイケル ヘンリー  
 東京大学生産技術研究所 正会員 加藤 佳孝  
 芝浦工業大学 正会員 勝木 太

## 1. はじめに

国土が狭く天然資源が乏しい我が国にとって、最終処分場への廃棄物の削減や、天然資源の節約という観点から、環境に配慮した生産活動を行うことが重要である。土木、特にコンクリートの分野も例外ではなく、温暖化や天然資源の枯渇問題対策として廃棄物、再生物質の活用が望まれている。

また、高度経済成長を経た我が国は、移動手段に自動車を多用している。そのため2009年では106万トンもの廃タイヤが排出され、リサイクル率は89%と前年と同等だが、流通在庫は毎年少しずつ上昇している<sup>1)</sup>。

このような現状を鑑み、本研究では、廃棄物を多量に含んだコンクリートの特性を実験的に検討した。セメントをフライアッシュで高置換し、再生粗骨材を使用し、さらに細骨材(S)を、廃タイヤを細かく刻んだゴムチップ(GC)で置換したコンクリートを作製した。特に、ゴムチップの置換率(gc/s:体積比)が、強度へ及ぼす影響を実験的に検討した。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料及び配合

ゴムチップには廃タイヤを直径1~3ミリ程度まで細かく刻んだものを使用した。結合材(B)は、普通ポルトランドセメント(C)、JIS A 6201で規定されているフライアッシュⅡ種(FA)を用い、フライアッシュを用いる場合は置換率50%で質量置換した。また、粗骨材には天然粗骨材(NA)または再生粗骨材(RA)の何れかを使用し、より多くの再生骨材を使用するためにs/aを39%と

した。再生粗骨材には、最も低品質で製造に多くのエネルギーを必要としないランクLを使用した。廃棄物の多量混入に伴う強度低下を防ぐために、すべての条件で水粉体比(W/B:質量比)を30%で固定し、単位水量を165kg/m<sup>3</sup>とした。

また、良好なワーカビリティをえるため、混和剤として高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系)と、空気量の調節のためにAE剤と消泡剤を使い分けて使用した。本研究で検討したコンクリートの配合を表-1に示す。

### 2.2 試験概要

#### 2.2.1 フレッシュ試験

ゴムチップがコンクリートのフレッシュ性状に与える影響と、良好なフレッシュ状態が確保できるゴムチップの置換率を調べるために、表-1中の普通コンクリートを基準とし、単位水量を160, 170, 180と変化した配合と、WB30-NAを対象として、混和剤量を固定し、gc/sのみを変化させフレッシュ試験を行った。

#### 2.2.2 硬化コンクリートの試験

本研究では、強度試験として圧縮強度試験、耐久性試験として、透気試験を行った。

圧縮試験は28日間水中養生したΦ100×200mmの円柱供試体により実施した。

透気試験は圧縮強度試験と同様の供試体を用いて、養生終了後、供試体を40℃で乾燥した。脱水確認後、供試体を試験セルに設置し、透気セルに圧縮空気を注入し、試験体内部を透過した空気流量が定常となったことを確認した上で、水上置換方により透気量を測

表-1 コンクリートの配合

配合名	材料割合 (%)				単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							混和剤 (%×B)		
	W/B	FA/B	s/a	gc/s	W	C	FA	S	GC	NA	RA	SP	AE 剤	消泡剤
普通コンクリート1	50	0	43	0	171	342	0	746	0	1015	0			
WB30-NA	30	0	39	0	165	550	0	624	0	1009	0	0.75	0	0.0006
WB30-RA					165	550	624	0		905	0.65	0	0.0006	
WB30-NA-FA50					165	275	275	590		955	0	0.85	0	0.0006
WB30-RA-FA50					165	275	275	590		0	856	0.85	0	0.0006
WB30-NA-GC25	30	0	39	25	165	550	0	468	65	1009	0	0.6	0	0.0005
WB30-NA-GC50				50				131	1009	0	0.75	0	0.0005	
WB30-RA-GC25				25				65	0	905	0.65	0	0.0004	
WB30-RA-GC50				50				131	0	905	0.9	0	0.0007	
WB30-NA-FA50-GC25				25				442	62	955	0	0.9	0.004	0
WB30-NA-FA50-GC50				50				295	124	955	0	1.0	0.02	0
WB30-RA-FA50-GC25				25				442	62	0	856	0.8	0.01	0
WB30-RA-FA50-GC50				50				295	124	0	856	0.9	0.014	0

キーワード ゴムチップ フライアッシュ 再生骨材 廃棄物

連絡先 〒135-8545 東京都江東区豊洲 3-7-5 TEL03-5859-7000 E-mail:h06088@shibaura-it.ac.jp

定し、式(1)により透気係数を求めた。

$$K = \frac{2P_2hr}{P_1 - P_2} \cdot \frac{Q}{A} \quad (1)$$

ここに、K：透気係数(cm/sec)，P<sub>1</sub>：载荷圧力(N/mm<sup>2</sup>)，P<sub>2</sub>：大気圧(N/mm<sup>2</sup>)，h：供試体の厚さ(cm)，Q：透気量(cm<sup>3</sup>/sec)，A：透気面積(cm<sup>2</sup>)，r：気体の単位体積重量(N/mm<sup>3</sup>)

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 ゴムチップの影響

##### 3.1.1 フレッシュ性状に与える影響

ゴムチップの置換率がコンクリートのフレッシュ性状に及ぼす影響を図-1、図-2に示す。図-1より、ゴムチップの置換率の増加に伴い、スランブが低下することが分かる。

W/C=50%では3種類の単位水量で実験を行ったが、単位水量が多いほど多くのゴムチップを混入することが可能である。空気量は、ゴムチップの置換率の増加に伴い空気量が増加し、市販のエアメーターでは計測不能の場合もあり、ゴムチップには空気を連行する性質があると言える。

W/C=30%では、置換率25%まではスランブの低下はなかったが、それ以上では置換率の増加に伴いスランブが低下するが、空気量には大きな変化が認められなかった。

以上のことから、コンクリート中のセメントペーストが多いほどスランブの低下を抑えることができる。

これによりゴムチップの最適置換率を25%、最大置換率を50%とし、硬化試験用のコンクリートの配合を決定した。表-2に、フレッシュ性状を示す。

##### 3.1.2 強度への影響

ゴムチップの置換率を0%、25%、50%と変化させたときの、圧縮強度の結果を図-3に示す。ゴムチップの混入による強度低下は、他の廃棄物を混入した場合の強度低下より大きいことが分かる。しかし、ゴムチップの置換率が0%の時では大きかった再生粗骨材の有無による強度の差が、置換率の増加に伴い小さくなっていることが分かる。また、フライアッシュの有無による強度差も、同様に小さくなっている。

既往の研究<sup>2)</sup>では、W/C=48%、W=215のコンクリートで置換率を25%にすると約30%、置換率50%では約50%の強度低下に対し、本研究で実施したコンクリート例えば、最も強度の高いWB30-NAは置換率25%にすると約40%、置換率50%では約60%の強度低下に対し、WB30-RA-FA50は置換率25%では25%、置換率50%では約50%の強度低下であった。

よって、ゴムチップの置換率が0%での強度が高いほど置換率を上げた時の強度低下が大いということが分かった。

普通コンクリートと比較すると、置換率0%ではほとんどのコンクリートが普通コンクリートよりも強度が高いが、置換率25%ではフライアッシュを使用したコンクリートが下まわっている。置換率50%では全ての種類のコンクリートが普通コンクリートを大幅に下まわっている。

本研究で対象とした配合では、ゴムチップの置換率が25%であれば、普通コンクリート以上またはそれに近い強度を得ることができる。

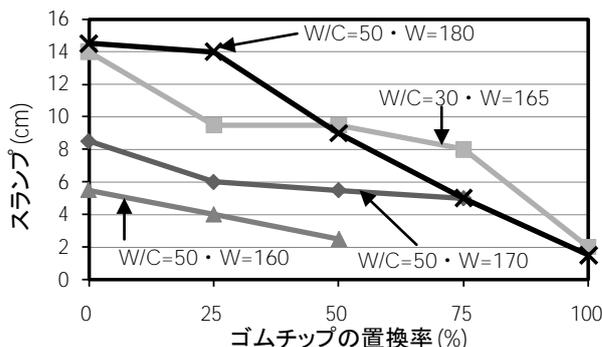


図-1 ゴムチップの置換率がスランブに及ぼす影響

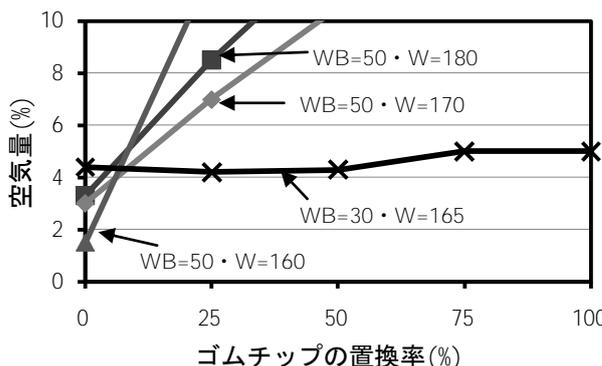


図-2 ゴムチップの置換率が空気量に及ぼす影響

表-2 打設時のコンクリートのフレッシュ性状

配合名	スランブ (cm)	空気量 (%)
普通コンクリート	11	4.0
WB30-NA	18.5	5.1
WB30-RA	12	5.2
WB30-NA-FA50	10	3.0
WB30-RA-FA50	16	4.5
WB30-NA-GC25	10	3.6
WB30-NA-GC50	9.5	5.7
WB30-RA-GC25	9.5	5.1
WB30-RA-GC50	13	5.0
WB30-NA-FA50-GC25	17	2.7
WB30-NA-FA50-GC50	11	4.4
WB30-RA-FA50-GC25	13.5	5.1
WB30-RA-FA50-GC50	12.5	3.7

### 3.1.3 透気係数に与える影響

図-4 にゴムチップの置換率が透気係数に及ぼす影響を示す。フライアッシュを混入しない場合、ゴムチップの置換率の増加に伴い、透気係数が天然骨材と再生骨材の間でほぼ一定の差を保ちながら増加しているのが分かる。フライアッシュを用いた場合、ゴムチップの置換率 25%までは大きな変化がないが、50%では大幅に増加し、フライアッシュを混入しないものよりも大きくなった。

本研究で使用したランク L の再生粗骨材は、ほとんど処理を行っていないため、骨材の周りにモルタル分が付着していることが多く、また不純物も多い。このため、空気が通り易くなっており、普通粗骨材を用いた配合よりも透気係数が大きくなったと考えられる。

表-3 に硬化コンクリートの圧縮・透気試験結果の一覧を示す。

### 3.2 ゴムチップの置換率による天然資源削減率

図-5 にゴムチップの混入による、天然資源の削減割合を示す。

本研究では、ゴムチップを細骨材の代替材料として使用しているため、ゴムチップの置換率が同じであっても、基準となる配合の細骨材材量が多いほど、天然資源割合が削減される。本研究で使用した  $s/a=39\%$  の場合、ゴムチップの置換率 25% で約 5%、置換率 50% で約 10% の天然骨材を削減できることが分かる。また、再生粗骨材を使用すると約 40% と大幅な削減が可能である。フライアッシュの置換では、約 10% 削減することが可能であった。全て置換した WB30-RA-FA50-GC50 では、約 60% も削減できていることが分かる。

### 3.3 天然資源割合と圧縮強度の関係

図-6、図-7 に天然資源の割合と圧縮強度の分布を示す。多くの破棄物が混入されているコンクリートほど、

表-3 圧縮・透気試験結果一覧

配合名	圧縮強度	透気係数
	N/mm <sup>2</sup>	×10 <sup>-12</sup> cm/sec
普通コンクリート	43.5	5.43
WB30-NA	75.6	0.94
WB30-RA	59.5	3.66
WB30-NA-FA50	52.9	0.92
WB30-RA-FA50	39.7	2.89
WB30-NA-GC25	47.6	3.09
WB30-NA-GC50	30.9	4.25
WB30-RA-GC25	42.2	7.09
WB30-RA-GC50	31.1	8.15
WB30-NA-FA50-GC25	35.4	0.80
WB30-NA-FA50-GC50	21.9	13.84
WB30-RA-FA50-GC25	29.1	1.12
WB30-RA-FA50-GC50	19.9	14.65

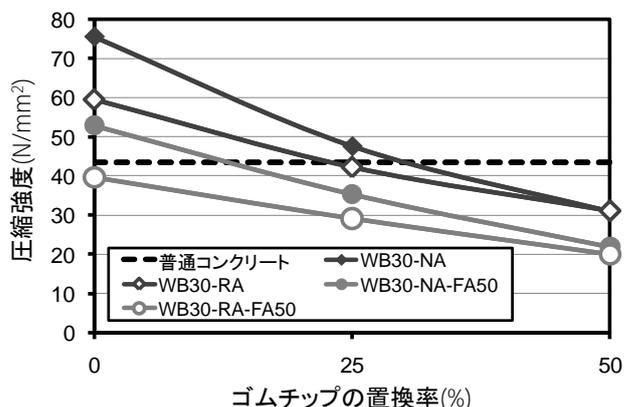


図-3 ゴムチップの置換率による圧縮強度の変化

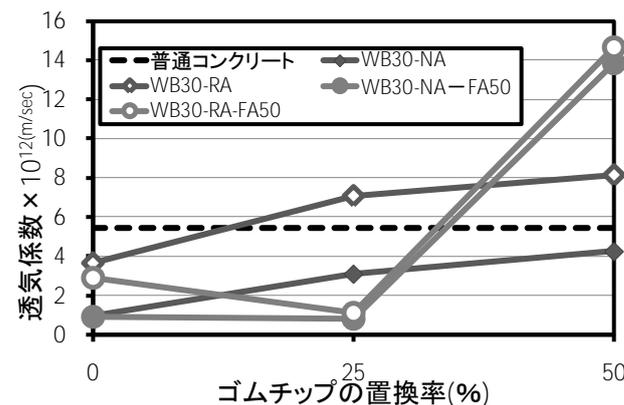


図-4 ゴムチップの置換率による透気係数の変化

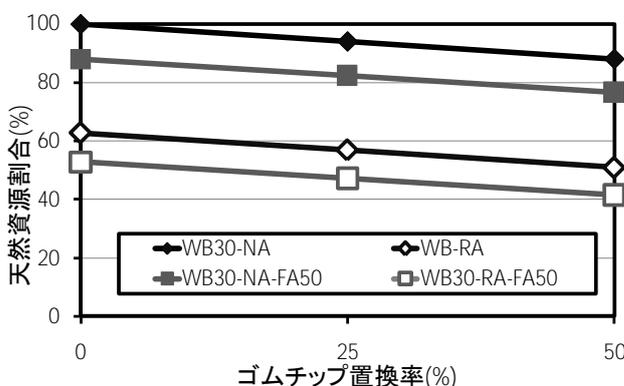


図-5 ゴムチップの置換率と天然資源割合

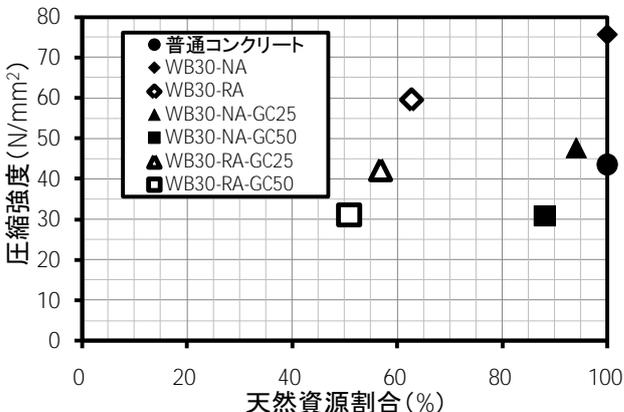


図-6 天然資源割合における圧縮強度分布(フライアッシュ無)

図の左側にプロットされる。そのため、廃棄物が多く天然資源量を削減できる再生粗骨材を使用したコンクリートが左側に、天然粗骨材を使用したコンクリートが右側にプロットされていることが分かる。

この分布図を活用することにより、普通コンクリートを基準として、同等以上の圧縮強度を確保しつつ、より多くの天然資源が削減できる配合を探ることができる。例えば、本研究の配合では、WB30-NAでは非常に高い圧縮強度が得られるが、全く廃棄物が混入されていない。逆に、WB30-RA-FA50-GC25は最も廃棄物を混入することができるが、普通コンクリートレベルの圧縮強度を得ることができない。したがって、図-6のWB30-RA-GC25が、廃棄物量も多く強度も十分であり、両者のバランスを確保した配合であると言える。

4. 天然資源削減割合による簡易的環境影響評価

ゴムチップに関する二酸化炭素排出量のデータがないため、環境に関する簡易的な評価として式(2)を使用し、廃棄物の割合による圧縮強度の評価を行った。その結果を図-8に示す。

$$f_r = \frac{f_c}{(100 - w)} \quad (2)$$

ここに、 $f_r$ : 廃棄割合により評価した圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>),  $f_c$ : コンクリートの圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>),  $w$ : 廃棄物割合(%)

図-8では廃棄物量が多く、圧縮強度が高いコンクリートの評価が高くなるようになっている。例えば、WB30-RAは再生粗骨材を使用しているため廃棄物量が多く、強度もかなり高いため非常に高い評価となっている。逆に、WB30-NA-FA50-GC50は、廃棄物量が20%程度にもかかわらず、強度が非常に低いため最も低い評価となった。図-6、図-7で適切な配合と判断したWB30-RA-GC25は、ゴムチップが入ったコンクリートの中でも最も評価が高く、その評価した値は廃棄物を用いないWB30-NAとほぼ同じ値であった。

5. まとめ

本研究により得られた成果を次にまとめる。

- (1) ゴムチップの置換率の増加に伴いスランプが低下し、空気量が増加するが、セメントペースト量を増やすことによってより多くのゴムチップを入れることができる。

- (2) ゴムチップの置換率が増加すると、圧縮強度が大幅に低下するが、他の廃棄物混入による強度低下の影響が少なくなることが確認された。
- (3) 透気係数は、フライアッシュが混入している場合、ゴムチップの置換率が25%から50%に増加したときに大幅に増加するが、フライアッシュ無しでは、大幅な増加は確認できなかった。
- (4) 廃棄物量と圧縮強度による検討の結果 WB-RA-GC25が本研究で最も強度を確保しつつ、廃棄物が多量に入ったコンクリートであることが分かった。

参考文献

1) (社)日本自動車タイヤ協会:日本のタイヤ産業,pp.16-17, 2009  
 2) Neil N.Eldin, Ahmed B. Senouci: Measurement and Prediction of the Strength of Rubberized Concrete, Cement & Concrete Composites 16,pp287-298,1994

謝辞: 本研究を行うにあたり東京大学生産技術研究所岸・加藤研究室の皆様、特に西村次男氏、パルドヘルマン氏の助力を得ました。ここに記して、深く感謝致します。

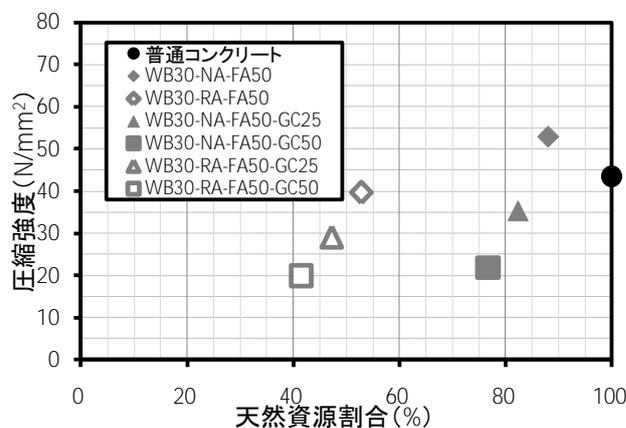


図-7 天然資源割合における圧縮強度分布(フライアッシュ有)

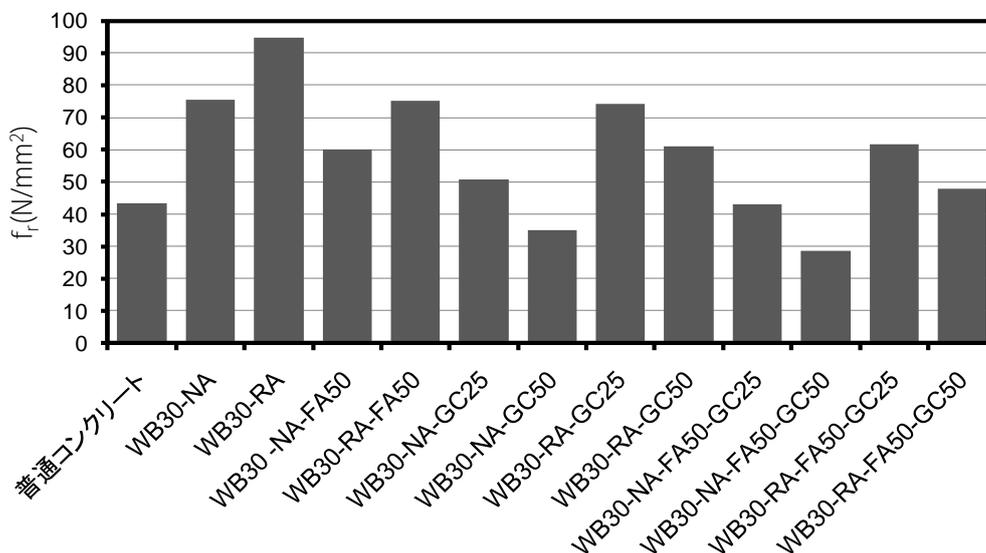


図-8 廃棄物使用割合によって評価した圧縮強度