

## 表面改質技術を用いた低品質再生粗骨材の品質改善に関する研究

A study on the quality improvement of low-quality recycled coarse aggregate with the surface modification technology

北見工業大学 工学部 社会環境工学科 ○学生員 西平直也 (Naoya Nisihira)  
 北見工業大学 工学部 社会環境工学科 正員 崔 希燮 (Choi Heesup)  
 北見工業大学 工学部 社会環境工学科 正員 井上真澄 (Masumi Inoue)

### 1. はじめに

コンクリートの構成要素の一つである骨材は、一般的なコンクリートの体積の約 7-8 割を占めており、骨材の品質はコンクリートの諸性状に大きく影響を及ぼすと考えられる。したがって、良質なコンクリート構造物を提供する上で、良質な骨材の安定的な供給は重要な課題である<sup>1)</sup>。

図 1 にコンクリート廃棄量と骨材需要量の推計を示す。骨材総量の減少とともに、最近では 1970 年代に作られたコンクリート構造物が供用年数を終えコンクリートの解体量が増えることによって再生骨材の量も増加している<sup>2)</sup>。再生骨材は、主に道路路盤材として利用されることにより、高い再資源化率を維持しているが、今後道路建設の減少や、最終処分場の逼迫などの問題がある。この問題を打開するためわが国では、コンクリート廃棄物から製造される再生骨材の普及に向けて JIS が整備され、コンクリートを取り巻くリサイクルシステムは大きく前進しつつある。しかし、簡易処理によって製造された低品質再生骨材は、骨材の品質低下によりコンクリートの性能が低下する。このことが低品質再生骨材の利用促進を妨げている。したがって、主に道路路盤材に使用される低品質再生骨材の品質を改善することにより、コンクリート用骨材として利用拡大することが重要である。低品質再生骨材の品質改善が可能になると、圧縮強度などの力学的性能が改善され、コンクリート用骨材として利用でき、さらに、乾燥収縮、中性化や凍結融解などの耐久性能が改善されたコンクリートの製造が可能になると考えられる。そこで再生骨材の研究の一環と

して崔らは、碎石骨材に対して表面改質を行い、碎石骨材の力学的特性の向上と骨材の回収について報告している<sup>3) 4)</sup>。表面改質とは、一般コンクリートで弱点とされているセメントマトリクスと骨材の界面を高密度ペーストを用いて改善し、骨材とセメントマトリクスの付着力を向上させ、コンクリート力学的特性を改善するという技術である<sup>2) 3)</sup>。

本研究は、主に道路路盤材に使用されている低品質再生骨材に対して表面改質処理を施した場合の骨材の品質を確認するとともに、これを用いたコンクリートの力学的性能および耐久性能について実験検討を行った。

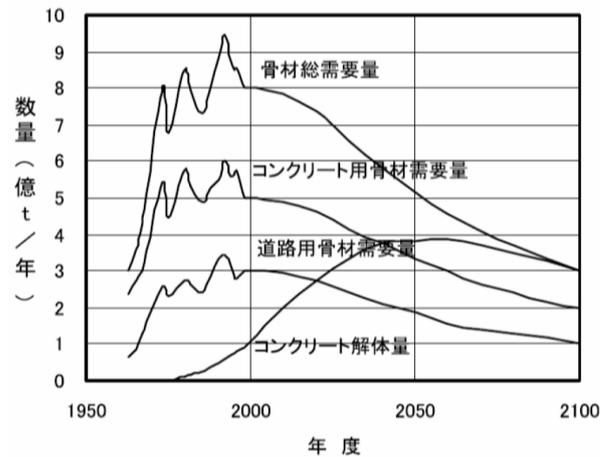


図 1 コンクリート排気量と骨材需要量の推計<sup>1)</sup>



写真 1 再生骨材の種類

2. 実験概要

2.1 使用材料

使用材料として、セメントには普通ポラドセメント（密度：3.16g/cm<sup>3</sup>、記号：C）、細骨材には幕別産陸砂（表乾密度：2.61g/cm<sup>3</sup>、吸水率 1.43%、F.M.：2.53、記号：S）を用いた。表 1 には、表面改質前後の骨材物性試験結果を示し、写真 1 には、一般的な質再生骨材の種類を示す。粗骨材には、写真 1 で示す（B）と（C）のような再生骨材の含有量が多い JIS A 5023 の再生骨材 L に相当する粗骨材（以下、低品質粗骨材）と、さらに表面改質処理を施した改質粗骨材（以下、改質骨材）を用いた。

改質粗骨材は、低品質再生骨材の骨材物性試験結果と既往の研究<sup>4)</sup>を参考に、表 2 に示す改質ペーストを低品質粗骨材表面に付着させたものである。骨材試験の結果、表面改質を施すことで密度の増加および吸水率の低下が確認された。これは、再生骨材の付着ペースト部分に存在する空隙に高流度の改質ペーストが浸透することにより、水が浸入しにくくなったこと、骨材表面が強化されたことなどが要因と考えられる。

表 1 骨材の種類・品質

区分	表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)
低品質再生骨材	2.42	7.57
改質骨材	2.49	6.89

表 2 改質ペーストの配合（原骨材 1kg 製造基準）<sup>4)</sup>

W/C	水	セメント	酸化鉄	混和剤	フロー
30%	21g	70g	C×100%	C×1.9%	30cm

表 3 コンクリートの配合表<sup>4)</sup>

区分	低品質再生骨材	改質骨材
W/C (%)	55	55
目標スランブ(cm)	18±2.5	18±2.5
目標空気量(%)	4.5±1.5	4.5±1.5
Gmax (mm)	20	
単位結合材料量 (kg/m <sup>3</sup> )	W	175
	C	318
	S	833
	G	961
AE 減水剤(%)	C×0.9	C×1.0

表 4 スランブと空気量測定値

区分	スランブ (cm)	空気量 (%)
低品質再生骨材	17.2	4.6
改質骨材	18.3	4.0

2.2 コンクリート配合

本実験では、表 3 のように、水セメント比 W/C=55%の低品質粗骨材のコンクリートを比較対象として、それと同等のフレッシュ性状を有するように、改質骨材を用いたコンクリートの水セメント比および化学混和剤の添加量を調節した<sup>4)</sup>。コンクリートは一般的にセメント、水、細骨材、粗骨材で構成されるが、改質骨材コンクリートでは、原骨材の表面をセメントペーストでコーティングするため、配合設計ではこれを考慮する必要がある。つまり、本実験では、低品質粗骨材を被覆するため、使用した改質ペーストの構成材料中のセメント、水量をコンクリートの配合に反映することで、1m<sup>3</sup>のコンクリートの単位セメント量が同等になるようにした<sup>4)</sup>。目標スランブは、18±2.5cm、目標空気量は 4.5±1.5%とした。表 4 には、練り混ぜ直後のスランブおよび空気量の測定結果を示す。

2.3 試験項目

力学的性能改善の確認のために圧縮強度試験(JIS A 1108)と割裂引張強度試験(JIS A 1113)、耐久性改善効果確認のための乾燥収縮試験(JIS A 1129)、促進中性化試験(JIS A 1152)と凍結融解試験(JIS A 1148)を JIS に準じて行った。

3. 実験結果および考察

3.1 力学的特性

図 2 と図 3 に圧縮強度および割裂引張強度を示す。圧縮強度では、各材齢において改質骨材を用いた方が 15%ほど増加する傾向が確認された。また、割裂引張強度はその増加傾向が顕著であり、30~40%程度の強度増加が確認された。これは、一般骨材コンクリートでは弱点となる界面が高密度ペーストでコーティングされたことにより改善され、界面の化学的・物理的付着力が増加したことが原因と考えられる。付着性能の確認のため割裂引張試験で生じた破断面の形状を写真 2 と写真 3 に示す。低品質粗骨材コンクリートは多くの部分で骨材表面において破壊する現象を示したが、改質骨材コンクリートは割裂時に発生させたひび割れが原骨材を貫通した状態であることが観察された。

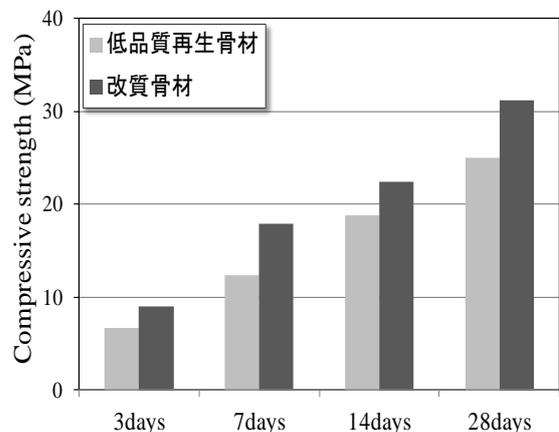


図 2 圧縮強度

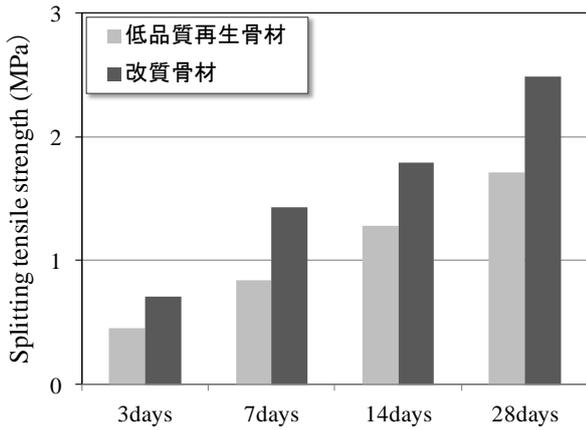


図3 割裂引張強度

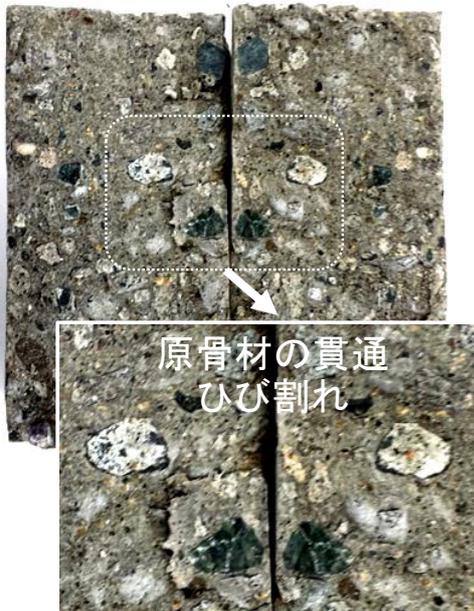


写真2 改質骨材コンクリートの破断面



写真3 低品質再生骨材コンクリートの破断面

### 3.2 耐久性

本研究で使用した低品質粗骨材とその表面を被覆して製造した改質骨材は、いずれも約7%以上の高い吸水率である。吸水率の高い骨材は、コンクリートの物性および耐久性に影響を及ぼすと考えられる。そこで、耐久性の検討のため、代表的な耐久性の評価項目である乾燥収縮、中性化、凍結融解に対する検討を行った。各試験結果を図4から図7に示す。

図4に乾燥収縮試験の結果を示す。供試体は、材齢1日で脱型後材齢7日まで水中養生し、その直後から20°C、60%R.H.の恒温恒湿室で乾燥収縮ひずみを測定した。その結果、乾燥材齢1週以後からはそれぞれコンクリート間の差が明らかに発生し、材齢4週～12週の間で、改質骨材コンクリートが低品質粗骨材コンクリートに比べ、乾燥収縮率が約10～20%低減する傾向を示した。この原因として、改質骨材の吸水率が多少減少したことと、表面改質したことによる硬化過程での骨材中の水分放散の減少につながり、骨材界面の強度が高くなったことで引張抵抗が増大されたものと推察される。

図5には中性化材齢12週までの中性化深さを示すとともに、原点回帰式で算出した中性化速度係数を示す。改質骨材コンクリートの中性化深さは、低品質粗骨材コンクリートに比べ、約3～4%程度低い水準であることから、モルタルマトリクスの中で改質骨材による界面が改善され、組織の緻密化に起因したと判断される。

図6の凍結融解試験結果より、150サイクルまでの低品質粗骨材コンクリートと改質骨材コンクリートで相対動弾性係数の差異は小さい。しかし、150サイクルからの各々のシリーズの差が徐々に増大し、300サイクル終了時点では改質骨材コンクリートの方が低品質粗骨材コンクリートより約7%上回った。一般に吸水率が高い骨材を用いた場合、コンクリート内部の凍結可能水量が多くなることから凍結融解の繰返し作用による劣化が進みやすい。しかし、表面改質により粗骨材の吸水率が低減したこと、同時に骨材界面の性能向上による組織の緻密化が凍結融解抵抗性の向上に寄与したものと考えられる。図7の各コンクリートの凍結融解による質量減少率は、凍結融解のサイクルが進行することによって、相対動弾性係数が減少するほど、質量減少率は増加する傾向を示したが、比例的關係を示さなかった。なお、低品質粗骨材コンクリートと改質骨材コンクリートにおいても、質量減少率の差はほぼなかった。

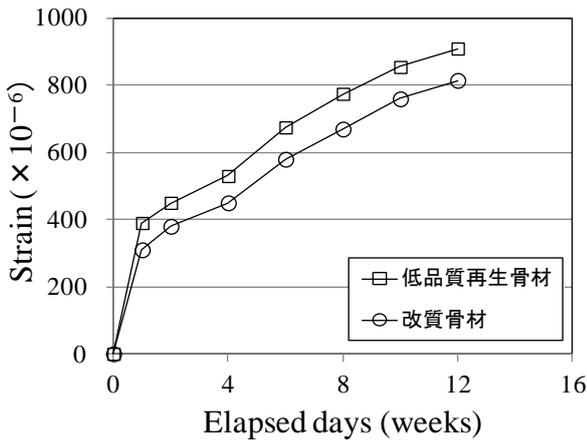


図4 乾燥収縮

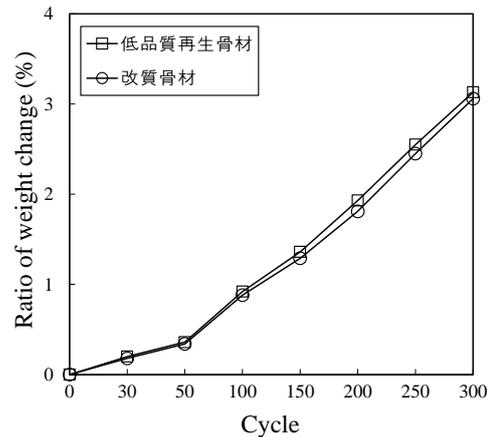


図7 質量減少率

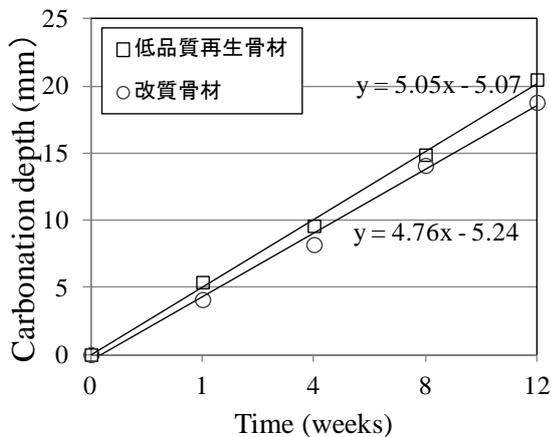


図5 中性化

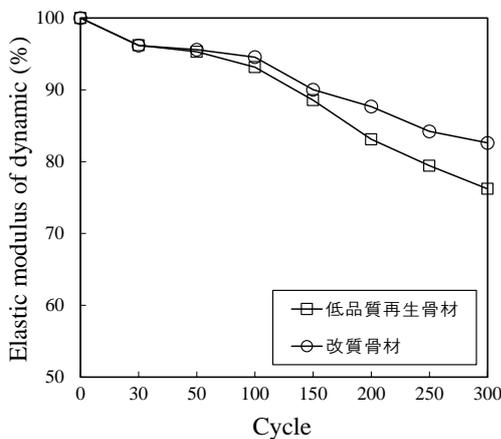


図6 凍結融解

#### 4. まとめ

本研究では、表面改質による低品質再生骨材の品質の改善と改質前後の骨材のコンクリートの力学特性および耐久性能を行った結果、次のことが明らかになった。

1) 圧縮強度・割裂引張強度の結果より、低品質再生骨材の表面改質によるコンクリートの力学的特性が改善され、低密度・高吸水率の低品質再生骨材に対しても改質ペーストを用いた表面改質によってモルタルマトリクスと骨材の間の界面強化が可能であることを確認した。

2) 表面改質処理により、再生骨材とモルタルマトリクスとの界面の改善により骨材とモルタルマトリクスとの付着力向上が付与し、改質ペーストが再生骨材の付着ペーストの空隙を埋めることで密度の上昇と吸水率の低減に繋がった。その結果として、改質骨材コンクリートの力学特性および耐久性能（乾燥収縮・中性化・凍結融解の抵抗力）が改善されたと推察される。

今後の課題として、骨材リサイクルを実現するため、低品質再生骨材の品質を改善して製造した改質骨材コンクリートの骨材回収性能を検査が必要である。

#### 参考文献

- 1) 北海道開発土木研究所月報, 再生骨材の最近の動向について, No. 632, pp. 29-33, 2006.1
- 2) 辻埜真人, 野口貴文, 北垣亮馬, 長井宏憲: 骨材への被覆改質処理による完全リサイクルコンクリートの強度向上技術に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, Vol.75, No.647, pp. 17-24, 2010.1
- 3) Choi, H.S., et al., Kitagaki, R. and Noguchi, T.: Effective Recycling of Surface Modification Aggregate using Microwave Heating, Journal of Advanced Concrete Technology, 12, pp.34-45, 2014
- 4) Choi, H., et al.: Using Microwave Heating to Completely Recycle Concrete Journal of Environmental Protection, No.5, pp.583-596, 2014