

論文 低品質再生粗骨材の改質処理による構造体への適用に関する研究

辻 堃 真人^{*1}・田村 雅紀^{*2}・兼松 学^{*3}・野口 貴文^{*4}

要旨: 解体コンクリート塊を必要最小限のエネルギーでコンクリート用骨材としてリサイクルし、さらにそれらの骨材を用いたコンクリートから骨材を容易に回収できるような技術の確立を目的として、実験的検討を行った。使用中・低品質再生粗骨材の品質を明らかにし、それらに油脂系とシラン系、2種類の改質処理剤を用いたコンクリートの材料試験およびRC梁曲げ試験を行った。その結果、シラン系の大幅な剥離効果が得られた反面、強度低下が見られた。油脂系に関しては、無処理粗骨材と比較し、若干剥離性が改善され、RC梁曲げ試験においては、たわみ量に大きな差は見られなかった。

キーワード: 再生コンクリート, 再生粗骨材, 低品質, 改質処理, 剥離性, RC梁曲げ試験

1. はじめに

現在、解体土木構造物・建築物から発生するコンクリート塊の大半は路盤材として利用され、他の建設産業廃棄物と比べ極めて高い割合で再資源化されている。しかし、道路建設の減少、寿命限度を迎えつつある構造物群から発生するコンクリート塊の増加や最終処分場の逼迫という将来のコンクリート廃棄物問題を鑑みると、現在、路盤材として利用されているコンクリート塊をコンクリート用骨材として再利用する必要がある。また、これら路盤材として再利用されてきた低品質な骨材を低コスト・低エネルギーで品質改善するとともに骨材回収率向上を図る技術も求められている。

本研究では、表面改質処理剤を骨材表面に塗布するという簡便な作業を再生粗骨材製造工程

に加え、再再生時の回収率向上を図り、再生骨材の欠点であると言われる高い吸水率を低減し、同時に低品質再生粗骨材をコンクリート用骨材に適応させる技術の確立を目的としている。

よって本実験は、表面改質処理剤が再生粗骨材へ与える影響を把握し、改質処理を施した再生粗骨材を用いたコンクリートの硬化物性、回収率に関する剥離性試験および鉄筋コンクリートの曲げ特性を調査し、コンクリート用骨材として利用可能であるか検討を行った。

2. 再生粗骨材の性質

2.1 品質

本研究で用いた再生粗骨材の品質を表-1に示す。中品質と定めた骨材は、ジョークラッシャ、コーンクラッシャで破碎処理後、三次破碎

表-1 再生粗骨材の品質

粗骨材種類	記号	絶乾密度 (g/cm ³)	表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	微粉分量 (%)	単位容積質量 (kg/l)	実積率 (%)	粗粒率
中品質	M	2.36	2.47	4.80	0.64	1.51	64.1	6.51
低品質	L	2.33	2.46	5.48	2.10	1.41	60.5	6.24

*1 東京大学大学院 工学系研究科建築学専攻 (正会員)

*2 東京都立大学助手 工学研究科建築学専攻 工博 (正会員)

*3 東京大学大学院助手 工学系研究科建築学専攻 工修 (正会員)

*4 東京大学大学院助教授 工学系研究科建築学専攻 工博 (正会員)

のスクリー摩砕にかけ、その後粒度調整を行い JIS の標準粒度分布範囲に収めたものである。また低品質とは、破碎のみでスクリー摩砕および粒度調整を行っていない再生粗骨材とした。それぞれの粒度分布曲線を図-1 に示す。

それぞれの骨材起源は、中品質は実験室で製造し、調合が明らかなコンクリート塊であるのに対し、低品質は調合が不明な、現在路盤材に使用されている廃コンクリート塊を購入し、原料とした。中品質再生粗骨材の原コンクリートの調合およびそのコンクリートの各試験結果を表-2 および表-3 に示す。

2.2 ペーストおよびモルタル混入率

セメントペーストは骨材に比べポーラスであるために、多く混入していると吸水率が高くなるとともにコンクリートの硬化特性に悪影響を及ぼすことが報告されている。従ってこれらの混入率は再生骨材の品質を表す代表的な指標であるといえる。そこで、本実験において、塩酸溶解法によりペーストおよびモルタル混入率の測定を行った。結果を図-2 に示す。両品質のペースト混入率の差は 3 倍程度あり、モルタル混入率は 2 倍程度の差があった。また中品質は、全質量の 3 割程度、低品質は、5 割以上がモルタル分であった。これは、中品質再生粗骨材が 3 次破碎の摩砕効果により、モルタル付着量を低減したのに対し、低品質再生粗骨材は粗破碎のみであったためモルタル分が減量しなかったためである。

3. コーティング再生粗骨材の性質

3.1 改質処理剤の種類

本研究で用いた表面改質処理剤は、吸水率低減効果や回収率向上効果に一定の評価を得ている表-4 に示す油脂系とシラン系である^{1),2)}。それぞれの特徴、改質処理剤の効果および概念図を図-3 および図-4 に示す。

3.2 コーティング再生粗骨材の吸水率

再生粗骨材への改質処理剤の塗布は、一定濃度溶液を散水・乾燥を繰り返すことにより実施

表-2 中品質再生粗骨材の原コンクリート調合

w/c (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				混和剤
		水	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤
58.0	49.1	180	310	858	909	C×1.3%

表-3 原コンクリートの試験結果

スランブ (cm)	空気量 (%)	28日圧縮強度 (N/mm ²)	破碎時圧縮強度 (N/mm ²)
18.0	5.5	30.8	21.4

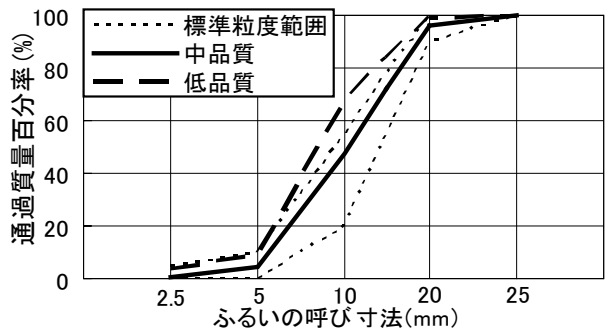


図-1 再生粗骨材の粒度分布曲線

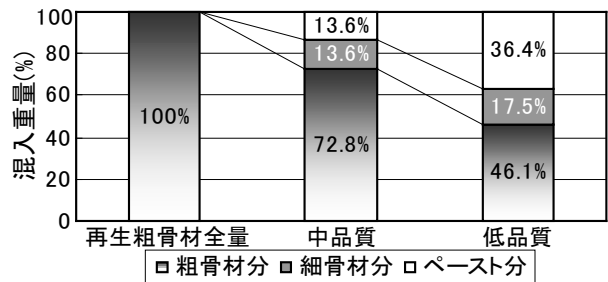


図-2 再生粗骨材のペースト付着率

した。塗布回数は、安定した塗膜を得るために 4 回とし、それぞれ JIS A 1110 に準じて吸水率試験を行った。塗布回数に応じた吸水率の結果を図-5 に示す。吸水性の高いペースト部分を含めた再生粗骨材全体への不均一な塗布状態が考えられ、塗布回数に応じた吸水率低減効果は、得られなかった。なお、最終状態の吸水率は、油脂系が 3.5%程度であり、シラン系は 1%程度であったことから吸水率低減効果はシラン系の方が高い。

4. コーティング再生粗骨材を用いた再生コンクリートの各種実験

4.1 実験水準および調合

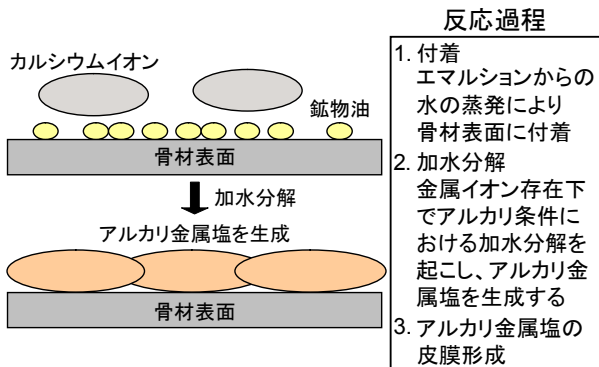
表-5 に本研究での実験水準および調合を示す。再生コンクリートの水準は、粗骨材種類が中品質および低品質の 2 種類、表面処理方法は

無処理(N), 油脂(O)およびシラン(S)の3水準とし, それぞれ水セメント比を60%および40%の計12水準とした。セメントは普通ポルトランドセメント(密度:3.16g/cm³)を用い, 細骨材には, 大井川水系陸砂(表乾密度:2.59g/cm³, 吸水率:0.59%, 粗粒率:2.66)を使用した。調査は, 無処理粗骨材を用いた再生コンクリートのフレック

シュ性状が, 表-5の目標性能を満足する値で決定し, 目標空気量が得られない場合に限り, 空気量調整剤を混入した。また改質処理を施した骨材, 特にシラン系において表乾時に薬液の溶出が見られたため塗布後, 表乾をとらずに使用した。

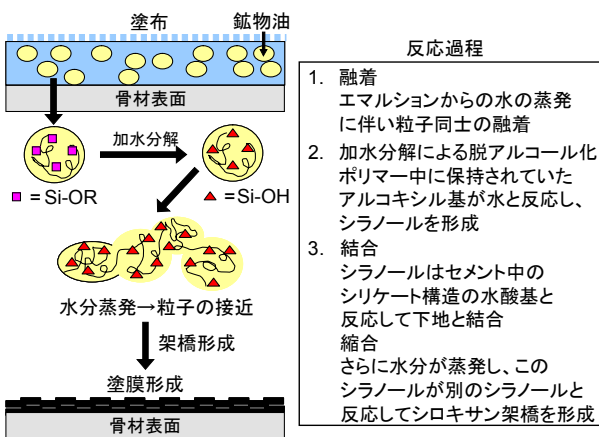
表-4 改質処理剤種類

種類	油脂系 (O)	シラン系 (S)
用途	合板・木製型枠用表面剥離剤	コンクリート表面への浸透型撥水剤
主成分	鉱物油(パラフィン), 乳化剤, ラノリン脂肪酸塩, 水	シラン化合物, 乳化剤, 水
状態	エマルジョン溶液	エマルジョン溶液



骨材表面で主にこの反応が起こる

図-3 油脂系改質処理剤の概念図



骨材表面で撥水性の塗膜が形成される

図-4 シラン系改質処理剤の概念図³⁾

本研究で用いる記号は次の通り

-(-*) → 骨材種-改質処理剤(-水セメント比)

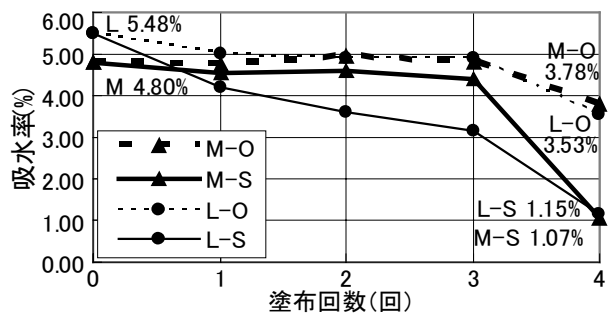


図-5 改質処理剤による吸水率低減効果

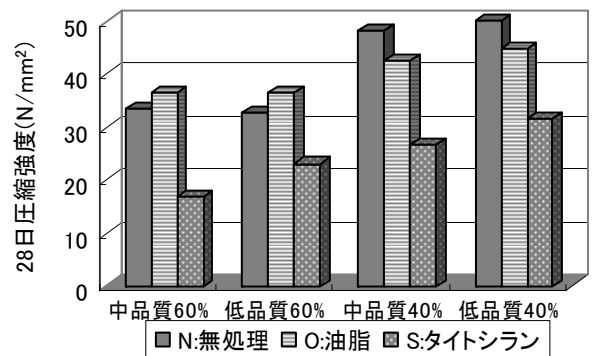


図-6 圧縮強度試験結果

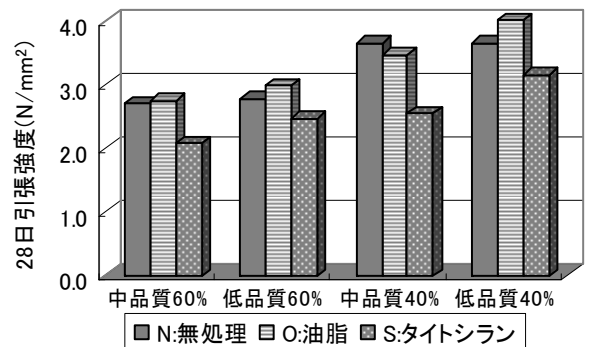


図-7 割裂引張強度試験結果

表-5 コンクリート調査および水準

粗骨材種類	表面処理方法	水セメント比 (%)	目標スランブ (cm)	目標空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (g/m ³)							
						水	セメント	細骨材	粗骨材								
中品質(M)	無処理(N)	60.0	18±2	4.0(±1)	47.0	175	292	844	906	730(AE減水剤)							
	油脂(O)																
	シラン(S)	40.0									2.0(±1)	42.0	165	413	743	981	2891(高性能AE減水剤)
無処理(N)																	
低品質(L)	油脂(O)	60.0	18±2	4.0(±1)	47.0	185	308	826	883	770(AE減水剤)							
	シラン(S)										40.0	2.0(±1)	42.0	175	438	725	950

4.2 力学的性質に関する実験

力学的性質は、コンクリートに要求される最も基本的かつ重要な性能の一つであり、設計段階における強度予測、品質管理や再生骨材コンクリートを用いた構造物の構造特性予測のためには、その把握は極めて重要である。材齢 28 日における圧縮強度試験および割裂引張強度試験を JIS A 1108 および JIS A 1113 に準じて行った。各試験結果を図-6 および図-7 に示す。

水セメント比 60%において油脂系は、無処理と比べ強度が高くなっており、骨材表乾をとっていないため、実際の水セメント比が小さくなったことによる強度増加の可能性もあるが、それを考慮したとしても、十分な強度確保が可能であるとわかった。また水セメント比 40%における油脂系の強度低下は、皮膜形成による骨材界面の強度がセメントマトリックスに対して弱くなるためである。しかしその程度は、無処理と比較し、10%程度と大きくなく、十分な強度を得ることが可能である。それに対しシラン系は、すべてにおいて大幅な強度低下がみられる。これは、骨材界面の強度がセメントマトリックスに対して大幅に弱くなるためである。

これより、油脂系に関しては、著しい強度低下が見られないことより、骨材界面での皮膜形成が破壊強度に与える影響は小さく、ある程度普通骨材と同様の強度予測が可能であるといえ、構造物用コンクリート骨材として利用できる可能性を見出せた。しかし、シラン系を用いた場合には、著しい強度低下が見られたため、普通骨材と同様の強度予測は不可能であり、塗布量と強度の関係を明らかにし、適用方法の検討を行う必要がある。

4.3 剥離性に関する実験

剥離性の重要性は、骨材回収型完全リサイクルコンクリート⁴⁾で示されたように、低エネルギーでリサイクルを可能にすることおよび骨材径を保つことである。本研究では、改質処理の剥離効果を確認するため酸化鉄を主成分とする赤色顔料をセメント質量に対し 3%コンクリート

に混ぜ、試験体を作成し、割裂引張試験を行い骨材面積比率算出による画像解析を行った。破断面の骨材露出のうち骨材または、旧モルタルが割れた面とコーティング面で剥がれた剥離面の面積比率を求めることで剥離効果を確認した。中品質再生粗骨材 (W/C=60%) を用いた場合の各画像解析結果を図-8 に示す。

無処理骨材は、7割近くが再生粗骨材部分で割れ、骨材径を保つことが出来ないことが確認された。油脂系は、無処理骨材に比べ、若干剥離率が向上したものの、要求を満足する水準ではなかったが、水セメント比 40%において、強度の低下が見られることから、水セメント比 60%よりも剥離性能を得られる可能性は高く、回収率向上につながると考えられる。それに対しシラン系は大部分が骨材界面で剥離することが明らかになったが、前項における強度低下が著しいため、剥離性能と力学特性のトレードオフ関係にある性質をいかに両立させ、構造物へ適用していくかが今後の検討課題となった。

4.4 乾燥収縮に関する実験

乾燥収縮試験を JIS A 1129-3 ダイヤルゲージ法により行った。試験体は、打設後 1 日で脱型

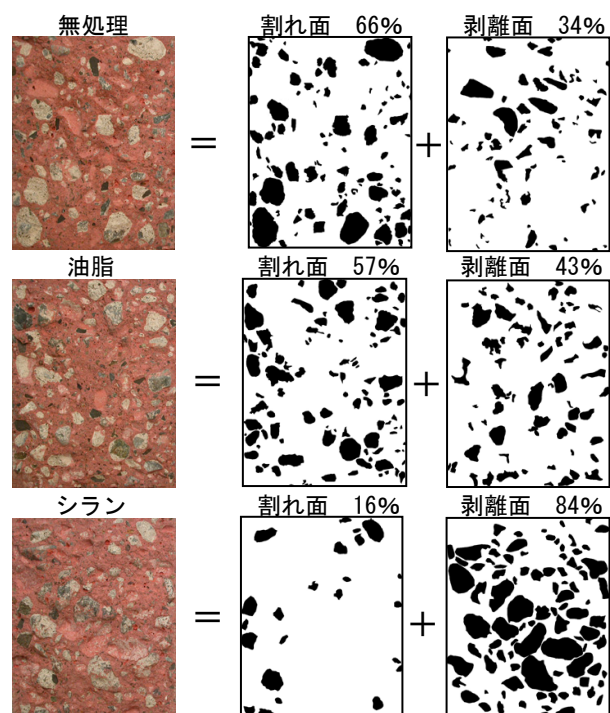


図-8 剥離性に関する画像解析結果

し、材齢9日まで水中養生とし、その後温度20℃、湿度60%の恒温恒湿室に安置した。材齢9ヶ月での乾燥収縮ひずみ量を、図-9に示す。

油脂系において若干の低下がみられ、シラン系においては無処理と比べ各水準ごとにバラつきが見られたが、L-S-60以外はほぼ同程度であった。しかし、骨材表乾における有無が結果に影響を与えている可能性があり、本実験においては一概に比較することは難しく、改質処理剤が乾燥収縮に有効手段となるかは今後の検討課題であるといえる。

4.5 クリープに関する実験

クリープひずみは、荷重直後のひずみに対し、数倍におよぶことから、構造力学上極めて重要であり、再生粗骨材を用いた構造物を考える上でも考慮する必要がある。本研究では圧縮クリープ試験をコイルスプリング方式の試験機を用いて行った。試験体は、φ100mm×200mmの円柱供試体を用い、91日水中養生後にクリープ試験を行った。クリープ試験は、温度20℃、湿度60%の恒温恒湿室の気中乾燥下で行い、それぞれ28日圧縮強度の1/3強度を荷重とした。測定は、供試体中央両面に、標点間距離が100mmとなるようにコンタクトチップを貼り、コンタクトゲージを用いて測定した。それぞれの単位応力あたりのクリープひずみを、図-10～図-13に示す。なお、クリープひずみは、圧縮クリープ供試体のひずみから、荷重時の弾性ひずみおよび無拘束供試体のひずみを差し引いて求めた。グラフには普通コンクリートを想定した土木学会308式⁵⁾の計算値も合わせて示す。

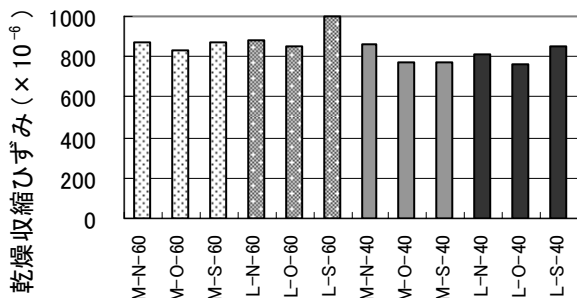


図-9 材齢9ヶ月における乾燥収縮ひずみ

計算結果と比較すると荷重材齢185日においてほぼ全ての水準で傾きが大きく、ひずみ量は増加傾向にあり、クリープひずみも大きい。従って再生粗骨材コンクリートは、普通コンクリートに比べクリープひずみが大きい可能性が高く、また改質処理を施した場合にも同様の傾向が見られることから処理によってクリープひずみが低減される結果ではなかったと考えられる。

4.6 改質処理剤を施した骨材を用いた鉄筋コンクリート梁の曲げに関する実験

コーティング再生粗骨材を用いたコンクリートの構造特性を把握し、構造物への適用を検討するために、RC部材による曲げ試験を行った。試験体概要および荷重概要を図-14に示す。試

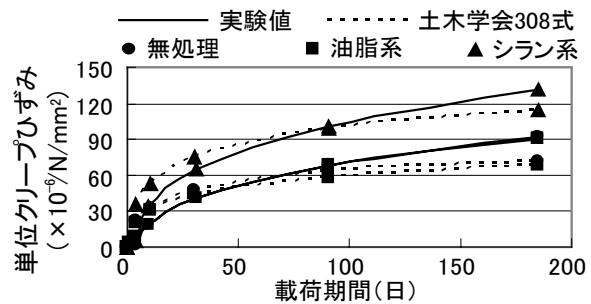


図-10 中品質W/C=60%の単位クリープひずみ

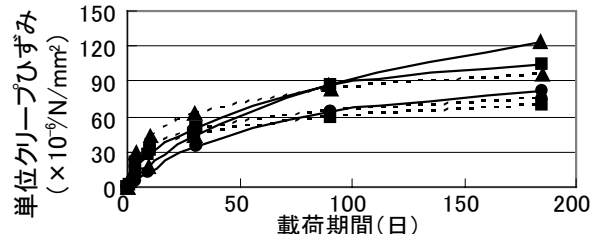


図-11 低品質W/C=60%の単位クリープひずみ

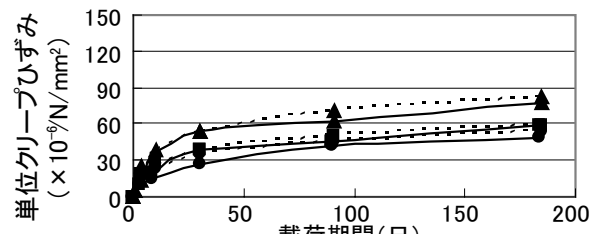


図-12 中品質W/C=40%の単位クリープひずみ

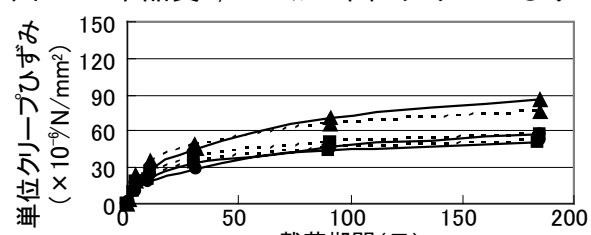


図-13 低品質W/C=40%の単位クリープひずみ

験は、強度低下が著しく、現時点では、構造用として活用することが困難であると判断したシラン系を除き行った。それ以外の試験水準および調合は、材料試験と同様である。荷重-たわみ関係の一例を図-15に示す。

再生粗骨材を用いたコンクリートにおける曲げ耐力は、佐藤らの研究によって、普通粗骨材を用いた場合と大きな差が見られないことが報告されている⁶⁾。本試験において無処理骨材と油脂系骨材に大きな差がみられないことより、油脂系も普通骨材を用いた場合と同様の傾向がみられる可能性が高い。これより改質処理骨材を用いた場合においても RC 構造体としての利用性が見出せたと判断することができる。また低品質再生粗骨材を用いた場合においても、著しい強度低下などが見られないため、曲げ耐力の観点からは骨材種類における差はほぼないと考えられる。よって今後は、曲げ特性だけでなく、せん断特性に関する検討を行い、構造体への適用範囲を高めることにより、構造用コンクリート骨材と位置づけることが可能となる。

5. まとめ

以上の実験結果より以下の知見を得た。

- (1) 簡易な散水方法での改質処理塗布でも再生粗骨材の吸水率を低減することが可能である。
- (2) シラン系では 50%以上の剥離効果が見られ高度処理を行うことなく、回収率を高めることができる。また油脂系に関しても塗布量と剥離率を調べることにより、剥離性の向上が考えられる。
- (3) 油脂系再生粗骨材を用いた RC 曲げ特性は、普通骨材を用いた場合と同様の傾向を示す可能性が高く、コンクリート用骨材として利用可能である。

謝辞

本研究は平成 15 年度廃棄物処理等科学研究事業の一環として行われたものである。関係各位に感謝の意を示します。

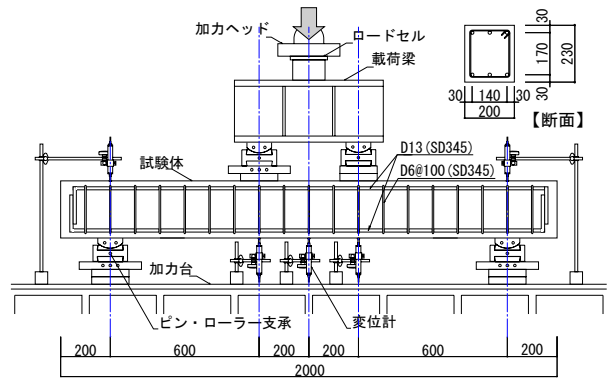


図-14 RC 曲げ試験の荷重概要図 (単位 mm)

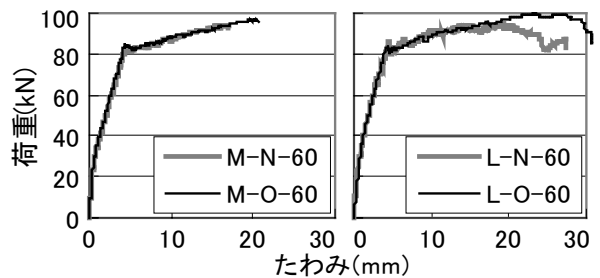


図-15 W/C=60%における各荷重-たわみ曲線

またご指導していただいた広島大学助手丸山一平氏および東京大学助手楠原文雄氏に心より感謝します。

参考文献

- 1) 辻 大二郎ほか: 低品質再生骨材の改質処理による構造体への適用に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.1251-1256, 2002
- 2) 王 政宏: 構造躯体コンクリート適用化のための低品質再生骨材の表面改質処理に関する研究, 東京大学修士論文, 2003
- 3) 長谷川 三高: 水性シラン系コーティング剤「シーラス」, 東亜合成研究年報 TREND1999, 第2号, pp.45-49
- 4) 田村 雅紀ほか: 骨材回収型リサイクル指向コンクリートの開発, セメントコンクリート論文集, No.51, pp.494-499, 1997
- 5) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ (メカニズムと対策技術の現状), pp.98-104, 2003
- 6) 佐藤 良一ほか: 低品質再生粗骨材を用いた RC 部材の力学特性, セメントコンクリート論文集, NO.53, pp.573-580, 1999