

再生コンクリートの曲げ強度とその寸法効果について

広島大学大学院 学生会員 ○豊田 正
オリエンタル建設株式会社 正会員 長谷川泰聡

1. はじめに

近年、再生骨材のコンクリート用材料への利用拡大が強く求められている。再生コンクリートの空港舗装コンクリートへの適用を想定した場合に曲げ強度の低下を舗装コンクリートの厚さで補う必要がある。このとき曲げ強度の寸法効果が重要となる。

そこで本研究では、再生コンクリートの寸法効果の傾向を明らかにすることを目的として、高さの異なる供試体を用いて、載荷試験により曲げ強度を測定し、破壊エネルギー試験に基づく、軟化領域でのコンクリートの応力状態の推定、解析結果を合わせて寸法効果の評価を行った。

2. 実験概要

本実験では舗装用コンクリートを想定し、水セメント比を 40%とした。配合の組み合わせを表 1 に示す。天然細骨材として鬼怒川産川砂を使用した。また、各試験の養生条件を表 2 に示す。（現場養生：上面のみ湿潤、他面を封緘する養生方法）

強度発現性試験

本実験では再生コンクリートの強度発現性を検討するため、圧縮、割裂引張強度、曲げ強度試験を実施し、それぞれの供試体作製については JIS. A. 1132 に準拠して行った。

曲げ寸法効果試験 曲げ寸法効果試験においては、100×100×400、150×150×530、300×150×1200、500×200×2000 mmの寸法の供試体を作製し、載荷材齢を 28 日とし JIS A 1106 に準拠した 3 等分点載荷を実施した。

破壊エネルギー試験 図 1 に示すような中央に切欠きの入った供試体を作成した。供試体寸法は 150×150×530 mmとし、配合ごとに供試体を 9 体作製した。載荷方法は最大荷重まで一定の速度で載荷した（0.005 mm/min）。高感度変位計により中央のたわみを測定した。最大荷重以降は不安定破壊を生じないように載荷の速度を調節した。

3. 結果および考察

破壊エネルギー試験結果 破壊エネルギー試験において供試体数 9 体のうち平均値により近いものの荷重-たわみ曲線を図 2 に示す。破壊エネルギーは次式

$$Gf=(W+m \delta)/Alig$$

[W:荷重-たわみ曲線下面積、mδ:自重による補正、Alig:リガメント面積、m:梁の質量に 1/L（載荷スパンと供試体長さとの比）を乗じて求めた支点間梁の質量、δ:梁の破断時の変位]により求めた。各配合 9 体の平均値は Rv-40 が 0.15 (N/mm)、Rvr-40 が 0.13 (N/mm) となった。Rvr-40 は Rv-40 に比べ若干破壊エネルギーの値にばらつきがあっ

表 1 配合の組み合わせ

配合名	配合の組み合わせ
Rv-40	再生粗骨材・天然細骨材使用のW/C=40%のコンクリート
Rvr-40	再生粗骨材・天然・再生細骨材使用のW/C=40%のコンクリート

表 2 養生条件

試験名	養生条件
強度発現性試験 (圧縮・割裂・曲げ試験)	標準養生及び気中養生 [7日、28日]
曲げ寸法効果試験	現場養生[28日]
破壊エネルギー試験	現場養生[28日]

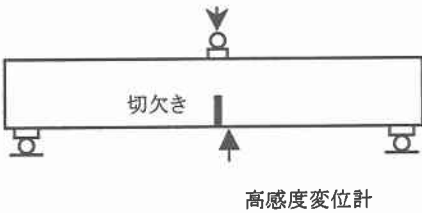


図 1 破壊エネルギー試験

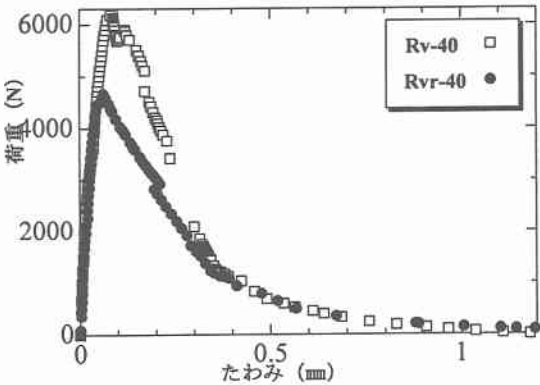


図 2 破壊エネルギー試験結果

た。この理由として Rvr-40 はモルタルの強度が粗骨材の強度に対して弱く、ひび割れが進展して粗骨材にぶつかったとき、ひび割れが粗骨材を迂回して分散しエネルギーの吸収量が多くなる場合がある。すなわち、骨材の分布が破壊エネルギーの値に影響を及ぼしたと考えられる。

曲げ寸法効果試験結果

曲げ寸法効果試験の結果を図 3 に示す。Rv-40 の方が Rvr-40 より曲げ強度は大きくなっているが、曲げ強度の低下の傾向はほぼ同様であるといえる。最大耐力はコンクリート厚の 3 乗に比例する。したがって、本研究において Rvr-40 が Rv-40 と同等の耐力を有するには、最大 1.2 割程度 Rvr-40 のコンクリート厚を増やせばよいと考えられる。

解析方法¹⁾

解析方法は供試体に生じるひび割れをひずみに変換する断面解析を用いた。この計算で設けた仮定を以下に示す。

1) 圧縮側の応力-ひずみ関係は直線とし、弾性係数を E_c とした (圧縮強度試験より求めた)。

2) 引張側の応力-ひずみ関係は等価俟長 l_{eq} を用いて、弾性域の応力ひずみ曲線と引張軟化曲線を (1/4 モデル) を合成した。ここで、 l_{eq} とはひび割れをひずみに換算するために導入したもので $h/2 \sim 2h$ と変化させて解析を行った。

$$\varepsilon = \sigma / E_c \quad (\varepsilon < f_t / E_c)$$

$$\varepsilon = \sigma / E_c + \omega(\sigma) / l_{eq} \quad (\varepsilon > f_t / E_c)$$

破壊エネルギーは別途に行われた破壊エネルギー試験の値を用い、引張軟化曲線は 1/4 モデルとし、軟化開始応力は割裂引張強度の 85% 程度とした (Rv-40 : $f_t = 3.0 \text{ N/mm}^2$ 、 $G_f = 0.15 \text{ N/mm}$ 、Rvr-40 : $f_t = 2.8 \text{ N/mm}^2$ 、 $G_f = 0.15 \text{ N/mm}$)。

解析結果

図 4 の a)、b) に Rv-40、Rvr-40 の寸法効果の解析結果を示す曲げ強度は Rv-40 の方が Rvr-40 より大きくなったが、その低下の割合はほぼ平行とみなせる。Rv-40 と Rvr-40 では破壊エネルギーの値は違うが、寸法効果に大きな影響は現れていない。これは実験結果も同様の結果である。しかし、解析結果において等価俟長の長さは Rv-40 および Rvr-40 の寸法効果に大きく影響している。この理由として、例えば等価俟長を $2h$ に設定した場合は $h/2$ に設定した場合と比べてひび割れの寄与分を過小評価していることになる。したがって、小さい供試体高さで曲げ強度が引張強度に漸近したと考えられる。また、 $l_{eq} = h$ のときに最も実験値に一致した。

4. 結論

(1) 破壊エネルギーおよび各寸法の曲げ強度は Rvr-40 より Rv-40 の方が大きくなった。

(2) 実験結果、解析結果ともに曲げ強度の低下の割合はほぼ同じであった。したがって、再生粗骨材、再生砂を用いたコンクリートでも、1.2 割程度コンクリート厚を増やせば同等の耐力が得られる。

[参考文献] 1) 内田祐市: 引張軟化を考慮したコンクリートの破壊性状に関する研究/1993 年 6 月 pp40~49

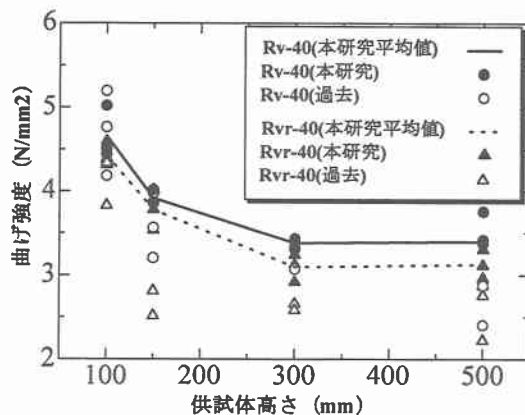


図 3 寸法効果実験結果

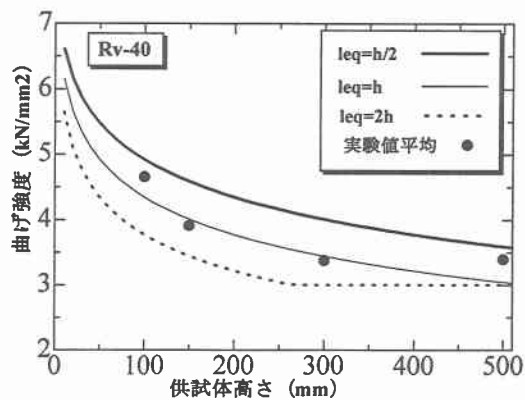


図 4 a) Rv-40 解析結果

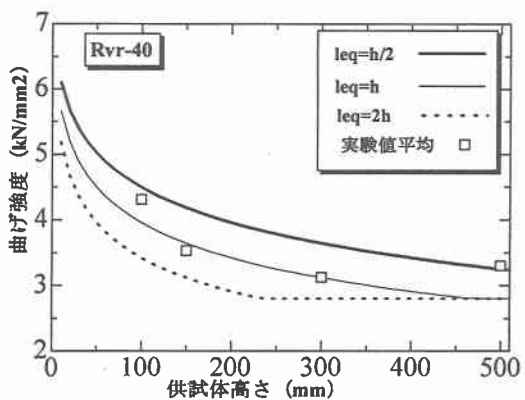


図 4 b) Rvr-40 解析結果