

# 再生骨材コンクリートMの引張特性について

東北工業大学 学生会員 ○笹原翔太, 正会員 小出英夫

東北工業大学 学生会員 安達善博, 学生会員 安達弘晃

東北工業大学 正会員 秋田宏

## 1. まえがき

硬化コンクリートのひび割れの発生や進展が関与する高度な性能照査には、コンクリートの引張特性を示す引張軟化曲線が必要となる。しかしながら、精度の良い引張軟化曲線を導くための直接引張試験は一般に実施が困難であるため、2007年制定のコンクリート標準示方書では、本来は引張軟化曲線より得られる破壊エネルギー $G_F$  (N/m)の推定式と、その $G_F$ を用いて推定される「2直線モデル」の引張軟化曲線が示されている。また、それらの適用範囲は、一般の普通コンクリートを対象としている。

本研究では、今後、幅広い目的での使用が必要になることが想定される再生骨材コンクリート M（以下、「再生コンクリート」と称す）について、粗骨材として再生粗骨材 M を 100%用い、その引張特性解明のための一助にする目的で、著者らが提案する方法<sup>1)</sup>による直接引張試験（図-1）を実施し、考察を行った。

## 2. 実験概要

本研究で用いた再生コンクリートと、比較のために用いた普通コンクリートの配合を表-1に示す。目標スランプ  $10\pm 2$ cm, 目標空気量  $5\pm 1\%$ を満たすよう、AE 剤と高性能減水剤で調整した。それぞれの配合における粗骨材絶対容積は同じであり、粗骨材の最大寸法は 20mm とした。再生コンクリートには粗骨材として再生粗骨材 M（表乾密度  $2.56\text{g/cm}^3$ , 吸水率 4.79%）を、普通コンクリートには碎石（表乾密度  $2.84\text{g/cm}^3$ , 吸水率 1.27%）をそれぞれ 100%利用し、両粗骨材とも、5~10mm, 10~15mm, 15~20mm の各粒径に対し JIS を満たす 30%, 45%, 25%（質量%）となるよう調整した。なお、セメントには普通ポルトランドセメント、細骨材には山砂を用いた。

各コンクリートに対し、直接引張試験用の  $100\times 100\times 400\text{mm}$  角柱供試体を 5 本ずつ、圧縮強度試験及び割裂引張強度試験用に  $\phi 100\times 200\text{mm}$  円柱供試体を 10 本ずつ作製した。角柱供試体には、供試体 4 側面の各中央部に幅 3mm, 深さ 10mm の「切欠き」を入れるとともに、供試体両端部の補強のための炭素繊維シートを貼付け、材齢 28 日で直接引張試験を行った。なお、実験で用いた再生コンクリートと普通コンクリートの材齢 28 日での圧縮強度はそれぞれ  $33.2\text{N/mm}^2$ ,  $35.8\text{N/mm}^2$ , 割裂引張強度はそれぞれ  $2.67\text{N/mm}^2$ ,  $3.13\text{N/mm}^2$ であった。



図-1 直接引張試験の様子

## 3. 直接引張試験方法

本研究で用いた直接引張試験方法<sup>1)</sup>の特徴は、供試体中央部 4 側面の「切欠き」をまたいで取り付けた  $\pi$  形変位計の伸びの測定値を用いてリアルタイムで制御される自動曲げ付加装置により、供試体中央部軸方向垂直断面内のひずみを、常時一様状態にできることである。また、引張载荷についても、最大引張荷重後の

表-1 実験に用いた再生コンクリートと普通コンクリートの配合

| 配合名 | 粗骨材の<br>最大寸法<br>[mm] | スランプ<br>の測定値<br>[cm] | 空気量<br>の測定値<br>[%] | 水セメント比<br>W/C [%] | 細骨材率<br>s/a [%] | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |           |          |          |            |               |
|-----|----------------------|----------------------|--------------------|-------------------|-----------------|-------------------------|-----------|----------|----------|------------|---------------|
|     |                      |                      |                    |                   |                 | 水<br>W                  | セメント<br>C | 細骨材<br>S | 粗骨材<br>G | AE剤<br>[g] | 高性能減水剤<br>[g] |
| 普通  | 20                   | 10.5                 | 5                  | 50                | 40              | 165                     | 330       | 694      | 1160     | 69         | 2310          |
| 再生  |                      | 9.5                  | 4.8                |                   |                 |                         |           |          | 1046     | 56         | 2376          |

キーワード：再生骨材, 再生コンクリート, 直接引張試験, 引張軟化曲線, 破壊エネルギー

連絡先：仙台市太白区八木山香澄町 35-1 東北工業大学工学部都市マネジメント学科 TEL022-305-3506

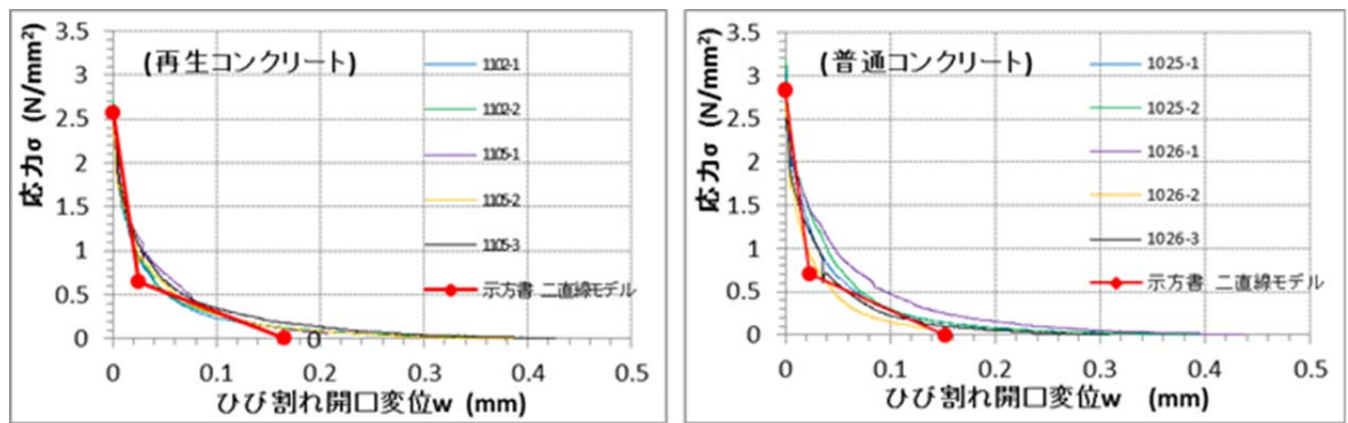


図-2 再生コンクリートと普通コンクリートの引張軟化曲線の比較

軟化域の荷重－変形関係を得るため、上記のπ形変位計の測定値をリアルタイムで用いるクローズドループ型のひずみ制御としている。

#### 4. 引張軟化曲線

図-2に、試験より得られた、供試体および治具等の自重の影響も入れ補正した引張軟化曲線を示す。引張軟化曲線より導

びかれた  $G_F$  (N/m)の値は、再生コンクリートが平均 103 N/m、標準偏差 8.1 N/m、普通コンクリートが平均 111 N/m、標準偏差 26.3 N/m となり、再生コンクリートの方が 7%程度平均値が低いものの、ばらつきは小さい結果となった。また、図-2には、圧縮強度と引張強度を用いてコンクリート標準示方書より推定した2直線モデルの引張軟化曲線も示した。本来その推定の適用外である再生コンクリートにおいては、設計者に対して安全側 ( $G_F$  の小さい方) へのモデル化が必要であることがわかる。

#### 5. 引張破断面の比較

図-3に、直接引張試験後に二分された各コンクリート供試体の相対する破断面の一例を示す(外側の赤線外部分が切欠き部分を示す)。相対する破断面内には、骨材破断部(①)、骨材とモルタルの付着破壊部(②)、モルタル破断部(③)が存在し、図-4に破断面中央の4×4cm内(図-3の内側の赤線内部分)における上記①、②、③の破断種別の分布の一例(未記入部分はすべて③)を、表-2に当該部分の破断種別の面積割合の測定結果を示す。表-2より、再生コンクリートでは付着破壊の割合が小さいことが、 $G_F$  値のばらつきの小さいことに影響していると推定できる。

#### 6. まとめ

再生粗骨材 M(最大寸法 20mm)を粗骨材として 100%用いた再生コンクリートに対して直接引張試験を実施した結果、同一配合の普通コンクリートと比較し、 $G_F$  は約 7%低下するものの、本来の粗骨材の絶対容積が少ない影響により、モルタルと骨材の付着破壊部が減少(モルタル破断部は増加)し、 $G_F$  値のばらつきは小さくなることがわかった。

参考文献 1) 秋田宏、小出英夫、三橋博三：コンクリートの直接引張試験における4つの誤解、コンクリート工学論文集、Vol.16、No.1、p.77～86、2005.1

謝辞 供試体の作製にあたり三菱マテリアル(株)、山宗化学(株)、炭素繊維シートならびに接着剤の提供をいただいたショーボンド建設(株)、(株)コンステック、三菱樹脂(株)の各社様には多大なるご支援を頂きました。ここに謝意を表します。



図-4 供試体破断面内の破断種別の一例

表-2 供試体破断面内の破断種別

|                      | 供試体名   | 破断面内の破断種別(%)  |               |                 |
|----------------------|--------|---------------|---------------|-----------------|
|                      |        | 骨材<br>破断<br>① | 付着<br>破壊<br>② | モルタル<br>破断<br>③ |
| 普通<br>コン<br>クリ<br>ート | 1025-1 | 3.3           | 38.6          | 58.1            |
|                      | 1025-2 | 1.4           | 39.6          | 59.0            |
|                      | 1026-1 | 15.3          | 14.4          | 70.3            |
|                      | 1026-2 | 1.2           | 33.0          | 65.8            |
|                      | 1026-3 | 1.6           | 25.2          | 73.2            |
|                      | 平均     | 4.5           | 30.2          | 65.3            |
| 再生<br>コン<br>クリ<br>ート | 1102-1 | 1.5           | 5.8           | 92.7            |
|                      | 1102-2 | 8.9           | 3.5           | 87.6            |
|                      | 1105-1 | 2.3           | 5.6           | 92.1            |
|                      | 1105-2 | 4.2           | 5.5           | 90.3            |
|                      | 1105-3 | 4.2           | 5.7           | 90.1            |
|                      | 平均     | 4.2           | 5.2           | 90.6            |