

再生骨材コンクリートMにおける引張軟化曲線の推定

東北工業大学大学院 学生会員 ○古仲 勇作
東北工業大学 正会員 小出 英夫
東北工業大学 正会員 秋田 宏

1. はじめに

高度な数値解析が可能になり、コンクリートのひび割れの発生や進展の解析などに、コンクリートの引張強度到達以降における、引張軟化域での引張軟化曲線等の引張特性の把握が必要となってきた。

そこで、本研究では、JIS で定められている再生骨材コンクリートの使用想定範囲の拡大を念頭に、普通コンクリートと比較して引張に弱いと考えられる「再生骨材コンクリート M」を対象として、秋田ら¹⁾の二次曲げを消去する工夫をした直接引張試験により引張軟化曲線を導く。そして、それらの結果を用い、任意の配合の再生骨材コンクリート M の引張軟化曲線を、試験を実施すること無く推定^{2),3)}する方法を提案する。

2. 実験概要

2.1 実験に用いた再生骨材コンクリートM

表-1に示した9種類の配合の再生骨材コンクリートMに対して、直接引張試験を行った。粗骨材の最大寸法は15mmとし、スランプ10±2cm、空気量5±1%を満たすように混和剤で調整した。全ての配合において、骨材絶対容積、セメントペースト容積はそれぞれ同一とし、粗骨材に再生粗骨材Mを100%用いた。セメントは、普通ポルトランドセメント、細骨材は鶴巣大平産山砂(表乾密度2.55g/cm³、吸水率2.49%)、再生粗骨材Mは、コンクリート用再生骨材M2005(絶乾密度2.39g/cm³、吸水率4.79%)を分級し、5～10mmと10～15mmを絶乾質量で50%ずつ混合し、最大寸法15mmとして用いた。

表-1 再生コンクリートMの配合

配合名	W/C [%]	s/a [%]	単位量(kg/m ³)				AE剤 [C×%]	高性能減水剤 [C×%]	圧縮強度 (MPa)
			W	C	S	再生粗骨材			
B1	40	35	150	375	608	1120	0.017	1.08	40.2
D2		40			694	1033	0.013	1.45	45.1
B3		45			782	948	0.005	1.60	42.1
D1		35			608	1120	0.019	0.78	33.4
C2	50	40	165	330	694	1033	0.013	0.95	31.9
D4		45			782	948	0.010	1.20	34.8
B2		35			608	1120	0.019	0.27	23.1
D3		40			694	1033	0.015	0.31	22.8
B4	60	45	176	293	782	948	0.011	0.32	23.3

2.2 直接引張試験

材齢約28日で、各配合につき角柱(100×100×400mm)供試体5本に対して直接引張試験を実施した。直接引張試験時の複数ひび割れ発生を防ぐために供試体中央部に幅3mm、深さ10mmの切欠きを4面すべてに設け、供試体両端部10cmに補強用として炭素繊維シートを接着した。ユニバーサルジョイントを有する引張治具で供試体端部を挟みつけ、 π 型変位計(測定長90mm)から測定されるひずみを用いるクローズドループ型ひずみ制御式の載荷装置に取り付けた(図-1)。さらに、「二次曲げ」を消去して一様な引張状態での直接引張試験を行うため、供試体4側面を取り囲むようにコンピュータ制御式曲げ付加装置を取り付けた。

ひずみ制御式載荷により、引張最大荷重以降の切欠き部の「応力-ひずみ曲線」を得ることができ、さらにそれを用いて、引張軟化曲線(引張軟化域での応力とひび割れ開口変位の関係)を導くことができる。



図-1 直接引張試験の状況

3. 直接引張試験の結果

図-2には結果の一例として、配合B1の直接引張試験より得た $\sigma - \epsilon$ 関係を示す。最大引張

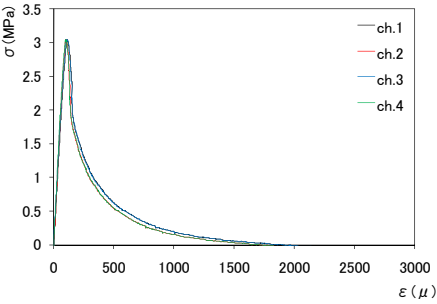


図-2 配合B1の $\sigma - \epsilon$ 関係

応力後の下降域が引張応力 0 付近まで安定して観測されていることが分かる。ch1 と ch3、ch2 と ch4 はそれぞれ向かい合った供試体面の変形(伸び)であり、各 ch の測定値である 4 本の曲線が良く一致していることは、二次曲げが良く消去されていることを表している。

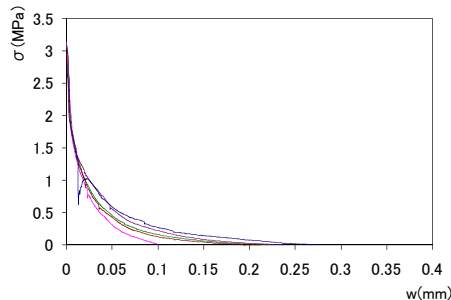


図-3 配合 B1 の引張軟化曲線

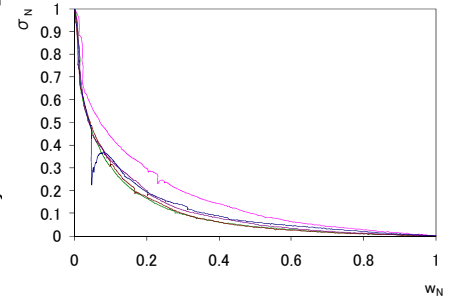


図-4 B1 の正規化引張軟化曲線

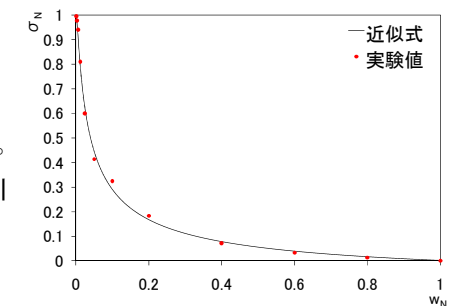


図-5 実験値と式-1 の比較

には一例として、配合 B1 の各供試体より得られた引張軟化曲線を示す。

4. 任意の配合の引張軟化曲線の推定

4.1 推定方法

表-1 に示した

9 配合に対する

引張軟化曲線の結果を用い、以下の推定手順で行う。

① (正規化引張軟化曲線) 各供試体の引張軟化曲線の縦軸を引張強度 f_t で除した σ_N 、横軸を測定された限界ひび割れ開口変位 w_c で除した w_N に変換し、正規化引張軟化曲線を導く。ここで、図-4 に一例として、図-3 より得た B1 の正規化引張軟化曲線を示す。

② (正規化引張軟化曲線の近似式) 同一配合の供試体から得られた正規化引張軟化曲線を 12 点で平均化し、最小二乗法により式-1 の近似式の定数 $A_1 \sim A_5$ を求める。 $x=W/C$ 、 $y=s/a$ とし、各配合における $A_1 \sim A_5$ は、 x 、 y の関数と見なされる。一例として、配合 B1 の正規化引張軟化曲線の近似式と実験値(平均化した 12 点)の比較を図-5 に示す。他の配合においても、同様に良く式-1 で近似されることがわかった。

③ (引張軟化曲線の推定) 式-2 より任意の配合(x, y)

$$\sigma_N = A_5 + \frac{A_3}{w_N + A_4} - \exp\left(-\left(\frac{A_2}{w_N}\right)^{A_1}\right) \quad \text{式-1}$$

$$A_i = a_{i1} + a_{i2}x + a_{i3}y + a_{i4}xy \quad \text{式-2}$$

表-2 $a_{i1} \sim a_{i4}$ の値の算定結果

A_i	a_{i1}	a_{i2}	a_{i3}	a_{i4}
$A_1 (i=1)$	1.661	-1.694	-2.344	3.717
$A_2 (i=2)$	-0.04760	0.1036	0.1905	-0.2311
$A_3 (i=3)$	-0.1465	0.2389	0.4394	-0.6730
$A_4 (i=4)$	-0.6255	1.075	2.226	-3.519
$A_5 (i=5)$	1.578	-1.089	-1.688	2.566
$f_t = A_6 (i=6)$	8.854	-11.08	-10.96	17.74
$w_c = A_7 (i=7)$	-0.01770	0.2636	0.1763	0.3479

に対する $A_1 \sim A_5$ 、 $f_t = A_6$ 、 $w_c = A_7$ の推定値を求めることができると仮定し、9 配合の各 $A_1(x, y) \sim A_5(x, y)$ 、 f_t 、 w_c を用いて最小二乗法により $a_{i1} \sim a_{i4} (i=1, 7)$ を求める。結果を表-2 に示す。任意の配合(x, y)に対して、表-2 の値を用いて求めた $A_1 \sim A_5$ を式-1 に代入することで、正規化引張軟化曲線の推定式が求まる。さらに推定された $f_t (=A_6)$ 、 $w_c (=A_7)$ を用いて、推定された正規化引張軟化曲線を $\sigma = \sigma_N \times f_t$ 、 $w = w_N \times w_c$ と変換することで、引張軟化曲線が推定される。

4.2 推定結果

9 配合の実験

結果 (近似式)

と推定した引張

軟化曲線を比較

することで推定

方法の妥当性を

評価した。図-6 には、一例として B1 の引張軟化曲線の比較結果を示す。近似式(実験値)の引張軟化曲線と推定された引張軟化曲線(推定式)は他の配合においてもほぼ一致しており、推定方法の妥当性が確認できた。

5. まとめ

最大寸法 15mm の再生粗骨材 M を粗骨材として 100%用いた任意の配合の再生骨材コンクリート M の引張軟化曲線を推定した結果、実験で得た引張軟化曲線とほぼ一致し、推定方法の妥当性が明らかになった。

謝辞 供試体の製造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)コンステックおよび三菱樹脂(株)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

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 2) 秋田宏、及川幸志、外門正直、小出英夫：任意配合コンクリートの引張軟化曲線を推定するデータベース、セメント・コンクリート研究討論会論文報告集、Vol.35、p.81～86、2008.10 3) 古仲勇作、秋田宏、小出英夫：再生コンクリートにおける引張軟化曲線の推定に関する基礎的研究、第 66 回土木学会年次学術講演会講演概要集(CD-ROM)、V-618、2011.9

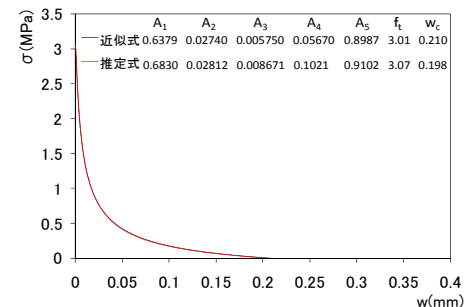


図-6 引張軟化曲線の比較結果(B1)