

コンクリートの引張軟化曲線を推定するデータベースの作成

東北工業大学大学院 学生会員 ○及川 幸志
東北工業大学 正会員 秋田 宏
東北工業大学 正会員 外門 正直

1. はじめに

建設材料として最も多く使われてきたコンクリートは圧縮に比べ引張には極端に弱いためコンクリート構造物の設計において引張強度は無視されてきた。しかし、近年コンクリート構造物の耐用年数が近づき、既存コンクリート構造物の補修・補強が重要視されている。そこで耐久性などの観点からひび割れの発生と進展、破壊の進行状況などのひび割れ解析に用いる必要なデータとして引張軟化曲線が必要となる。

引張軟化曲線を求める方法として直接引張試験があるが、同試験を実行するには高価な変形制御式載荷装置や2次曲げを消去するための曲げ付加装置などが必要なばかりでなく実行には難しい点があるため、一般的には行われていない。そこで、本研究では基準とする配合のコンクリート供試体を用いて直接引張試験を行い、その結果から同試験を行わなくても引張軟化曲線を推定できるデータベースの作成を目的とした。

2. 実験概要

2.1 使用材料及び配合

直接引張試験に用いたコンクリートの材料で、セメントは宇部三菱セメント(株)製普通ポルトランドセメント(密度:3.16g/cm³)、粗骨材は高館産碎石(絶乾密度:2.66g/cm³、吸水率:2.79%)、細骨材は鶴巣大平産の山砂(絶乾密度:2.48g/cm³、吸水率:2.49%)を使用した。本研究では、引張特性に最も影響を及ぼすと考えられる水セメント比(W/C)、細骨材率(s/a)、粗骨材の最大寸法(G_{max})の3つの要素を変化させた15配合と、標準形を決定するために用いた2000~2005年の配合およびそれと同じ配合であるC8,C9の計18配合を対象とした。

2.2 直接引張試験

供試体の形状は角柱、寸法は100×100×400mmを使用した。供試体長さの中心に幅3mm、深さ10mmの切欠きを4面全てに設けている。試験では、途中の不安定破壊を防止するため変形制御式載荷装置によって荷重

制御した。また、本実験では曲げ付加装置を使用することにより、不均質材料に発生する2次曲げを消去した。

3. 実験結果

実験で得られた各配合につき5本の引張軟化曲線の引張応力 σ を引張強度 f_t で、ひび割れ開口変位 w を最終開口変位(限界仮想ひび割れ幅) w_c で割って正規化し、11点について平均を求めた。引張軟化曲線の標準形として式(1)を仮定し、最小二乗法により定数を定めた。定数が決まれば同式により正規化した引張軟化曲線を描く事が出来る。

$$\sigma_N = \frac{A}{w_N + B} - Cw_N + D + Ee^{-F(w_N - G)^2} \quad (1)$$

4 データベース

4.1 推定範囲

図-1に本実験に用いた配合を三次元で表す。この図では、X軸が水セメント比、Y軸が細骨材率、Z軸が粗骨材の最大寸法、また一般的な配合の範囲は直方体の内部に、基準とする配合は直方体の頂点(A1~B4)と中間点(C1~C7)に相当する。

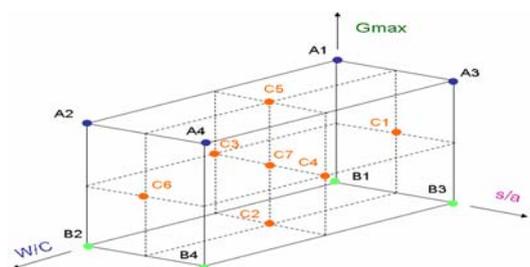


図-1 配合の三次元表示

4.2 推定式

直方体内部の任意点のコンクリートの引張軟化曲線を推定するために式(2)を用いた。ここで x, y, z がそれぞれ $W/C, s/a, G_{max}$ を、 V が定数 $A \sim G, f_t, w_c$ などの推

定値を表している。この式(2)の定数a~hを、15配合の定数、 f_t 、 w_c に対して、最小二乗法により定める事ができる。この定められた定数により任意コンクリートの正規化された引張軟化曲線が求まる。同様に f_t 、 w_c も求められ、正規化を解いた引張軟化曲線を求める事も可能である。

$$V = a + bx + cy + dz + exy + fyz + gzx + hxyz \quad (2)$$

4.3 定数の変化

式(1)の定数のうちFの配合による変化を図-2に示す。この図は各配合の定数とその定数から最小二乗法により求めた近似線を表わしている。図-2から、各配合の定数と、その近似線に極端な差がないことが分かる。ここで、C5,C7の配合では最小二乗法から導き出された値と実験で得られた値が極端にかけ離れていたため、今回のデータベースから外した。

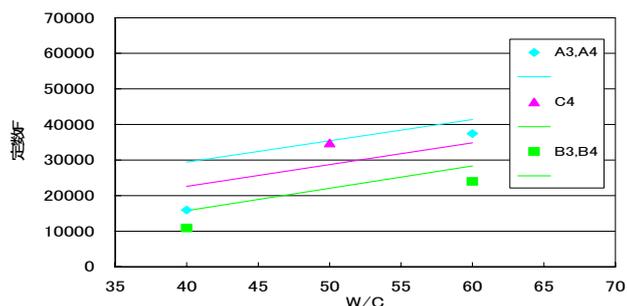


図-2 定数Fの配合による変化(s/a=45%)

4.4 推定結果

本データベースから得られる引張軟化曲線の適応性を調べるために、標準形を求めた実験に用いられた配合及びそれと同一の配合C8,C9について推定した結果を図-3に示す。これらの配合の関連データを表-1に示す。正規化した引張軟化曲線では標準、C9は推定曲線にほぼ一致していたのに対しC8ではずれが目立った。次に図-4の正規化を解いた引張軟化曲線では推定した曲線に対し、標準のずれが目立った。その要因として標準としたコンクリートの f_t と w_c が推定値より15%程大きくなることでずれが生じたと考えられる。また推定した引張軟化曲線と配合C8,C9では若干のずれが生じている。一般に各配合5本の実験値の破壊エネルギーの最大最小の差が約30%程度であるので、推定した引張軟化曲線と配合C8,C9の破壊エネルギーの差がそれぞれ

19%と28%程度であるため、このずれは許容できる範囲と考えられる。

表-1 配合,引張強度,ひび割れ幅開口変位

	w/c	s/a	G_{max}	f_t	w_c	G_F
C8	50	37	20	2.893	0.289	84.101
C9	50	37	20	2.453	0.219	75.133
標準	50	37	20	3.079	0.359	143.700
推定	50	37	20	2.627	0.307	103.900

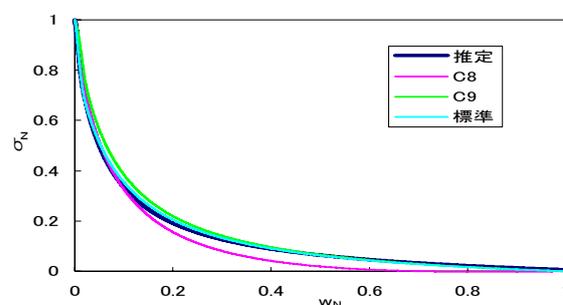


図-3 推定引張軟化曲線(正規化)

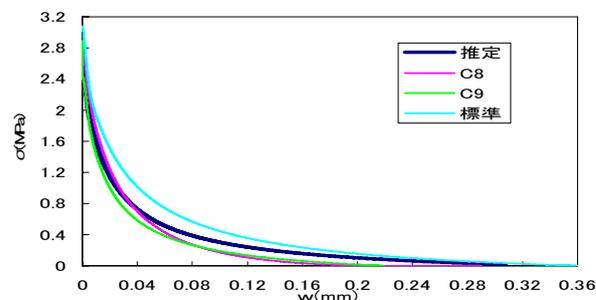


図-4 推定引張軟化曲線

5. まとめ

直接引張試験を行わなくとも任意配合コンクリートの引張軟化曲線を推定できるデータベースを作成した。このデータベースにより同一配合である標準、配合C8,C9に対して推定した引張軟化曲線では、標準は良好とはいえない結果となったが、配合C8,C9許容できる範囲の結果を得ることができた。この結果から本研究の作成したデータベースから推定される引張軟化曲線は有用であると考えられる。

参考文献:

- 1) 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,pp81-86
- 2) 秋田宏・小出英夫・孫銅基・外門正直:コンクリートの引張軟化曲線で得られる引張強度の精度に関する検討,コンクリート工学論文集, Vol.12,No.2, pp.105-112, 2001