V-63 高炉スラグ砕石コンクリートの応力ーひずみ曲線式に関する基礎的研究

ピーエスコンクリート㈱　正会員　○森島　修
関東学院大学　正会員　大内千彦
防衛大学校　正会員　加藤清志

1. まえがき

前報[1)〜3)]で高炉スラグ砕石コンクリートの変形特異点に関する諸物性値および各ひびわれ発生状況が，天然骨材コンクリートに比し明らかに異なることを報告した。すなわち，比例限度応力比は天然骨材コンクリートに比し　平均10%程度高く，また破壊機構も天然骨材コンクリートと異なることがわかった。これらのことから構造物の終局強度設計計算等を行なう場合，高炉スラグ砕石コンクリートを天然骨材コンクリートと同様に取り扱うことは望ましいことではないと思われる。本報告は，高炉スラグ砕石コンクリートの変形特異点に関する種種の物性値を用いて，推定応力ー縦ひずみ曲線式および応力ー体積ひずみ曲線式を求めたものである。

2. 推定応力ーひずみ曲線式

2ー1　応力ー縦ひずみ曲線式

普通コンクリートの応力ー縦ひずみ曲線式に関する研究は，Desayi[4)]，加藤[5)]ら多くの研究者によって行なわれている。しかしながら，高炉スラグ砕石コンクリートに関する研究は十分とはいえない。

本研究では，変形特性の諸物性値を重要視する立場から，応力をひずみの3次式で近似させ，変形特異点に関する物性値を考慮した下記の条件によって関係式を求めた。

基本式：$\sigma = a\varepsilon^3 + b\varepsilon^2 + c\varepsilon + d$ ………(1)

ここに，σ：圧縮応力，ε：圧縮ひずみ，a，b，c，d：定数

<条件1. 1>　$\varepsilon = 0$においては$\sigma = 0$，ゆえに(1)式中で$d = 0$となる。

<条件1. 2>　$\varepsilon = \varepsilon_{cB}$においては$\sigma = \sigma_{cB}$となり，<条件1. 1>より$\sigma_{cB} = a\varepsilon_{cB}^3 + b\varepsilon_{cB}^2 + c\varepsilon_{cB}$となる。

ゆえに，$\sigma_{cB}/\varepsilon_{cB} = a\varepsilon_{cB}^2 + b\varepsilon_{cB} + c \equiv E_s$となる。

ここで，σ_{cB}：終局圧縮強度，ε_{cB}：終局圧縮ひずみ，Es：終局割線弾性係数

<条件1. 3>　(1)式をεで微分すれば$d\sigma/d\varepsilon = 3a\varepsilon^2 + 2b\varepsilon + c \equiv E_t$となる。

ここで，Et：接線弾性係数

さらに，$\varepsilon = \varepsilon_{cB}$においては$E_t = 0$，ゆえに，$3a\varepsilon_{cB}^2 + 2b\varepsilon_{cB} + c = 0$となる。

<条件1. 4>　<条件1. 3>において，$\varepsilon \to 0$，$\sigma \to 0$とすれば$E_t \to E_i$となり，$c = E_i$となる。

ここで，Ei：初期接線弾性係数

以上4つの条件より，(1)式中の定数を求め，εについて整理すれば　応力ー縦ひずみ曲線式(2)が得られる。

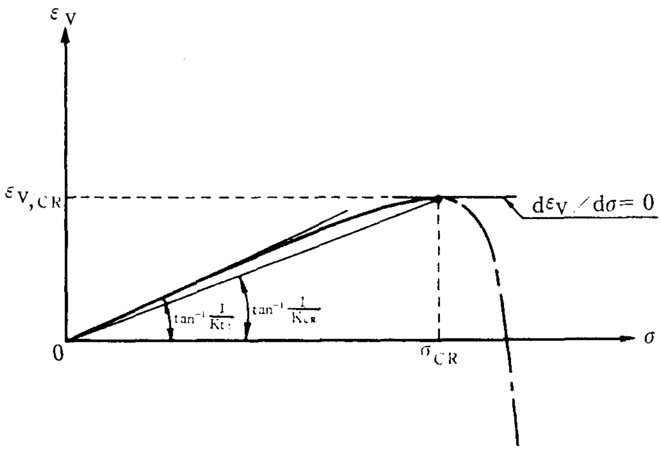
$$\sigma = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{cB}^2}\{E_i(\varepsilon - \varepsilon_{cB})^2 + E_s \cdot \varepsilon(3\varepsilon_{cB} - 2\varepsilon)\} \cdots\cdots\cdots(2)$$

ここで，$\sigma = \alpha\sigma_{cB}$，$\varepsilon = \beta\varepsilon_{cB}$　として(2)式を無次限化すれば，以下に示すように比較的簡便な式となる。

$$\alpha = (E_i/E_s) \cdot \beta \cdot (\beta - 1)^2 + \beta^2 \cdot (3 - \beta) \cdots\cdots\cdots(3)$$

2ー2　応力ー体積ひずみ曲線式

体積ひずみ曲線は一般に，縦ひずみ増分が横ひずみ増分の２倍になる物理状態を満足すれば最小体積を示すことを意味する。いま，応力と体積ひずみとの関係を図－１に示すような座標にとり，σを$0\leq\sigma\leq\sigma_{CR}$, $\sigma_{CR}\leq\sigma\leq\sigma_{cB}$に分けて，体積ひずみを応力の３次式で近似させ，下記の条件を用いて関係式を求める。



図－１ 応力と体積ひずみとの関係

基本式：$\varepsilon_V=e\sigma^3+f\sigma^2+g\sigma+h$ ……(4)

ここに，ε_V：体積ひずみ

(1) $0\leq\sigma\leq\sigma_{CR}$ の場合

＜条件2.1＞ $\sigma=0$においては$\varepsilon_V=0$，ゆえに(4)式中で$h=0$となる。

＜条件2.2＞ $\sigma=\sigma_{CR}$においては$\varepsilon_V=\varepsilon_{V,CR}$となり，また$h=0$より$\varepsilon_{V,CR}=e\sigma_{CR}^3+f\sigma_{CR}^2+g\sigma_{CR}$となる。

これより，$\varepsilon_{V,CR}/\sigma_{CR}=e\sigma_{CR}^2+f\sigma_{CR}+g=1/K_{CR}$となる。

ここで，$\varepsilon_{V,CR}$：臨界体積ひずみ，σ_{CR}：臨界応力，K_{CR}：臨界割線体積弾性係数

＜条件2.3＞ (4)式をσで微分すれば，$d\varepsilon_V/d\sigma=3e\sigma^2+2f\sigma+g=1/K_t$ となる。

ここで，K_t：接線体積弾性係数

さらに，$\sigma=\sigma_{CR}$においては$d\varepsilon_V/d\sigma=0$．ゆえに$3e\sigma_{CR}^2+2f\sigma_{CR}+g=0$となる。

＜条件2.4＞ ＜条件2.3＞において $\sigma\to0$では$d\varepsilon_V/d\sigma\to K_{to}$ となり，ゆえに $g=K_{to}$ となる。

ここで，K_{to}：初期接線体積弾性係数

以上４つの条件より，(4)式中の定数を求め，σについて整理すれば体積ひずみ$\varepsilon_{V,\,0\leq\sigma\leq\sigma_{CR}}$が得られる。

$$\varepsilon_{V,\,0\leq\sigma\leq\sigma_{CR}}=\frac{\sigma^2}{K_{CR},\,\sigma_{CR}^2}(3\sigma_{CR}-2\sigma)+\frac{\sigma}{K_{to},\,\sigma_{CR}^2}(\sigma-\sigma_{CR})^2 \quad\cdots\cdots(5)$$

(2) $\sigma_{CR}\leq\sigma\leq\sigma_{cB}$ の場合

＜条件3.1＞ 終局強度では，見掛け上ポアソン比が１となることを考慮すれば $\sigma=\sigma_{cB}$，$\varepsilon_V=-\varepsilon_{cB}$ となり，(4)式は，$-\varepsilon_{cB}=e\sigma_{cB}^3+f\sigma_{cB}^2+g\sigma_{cB}+h$ となる。

＜条件3.2＞ 臨界応力では，$\sigma=\sigma_{CR}$, $\varepsilon_V=\varepsilon_{V,CR}$ であるから$\varepsilon_{V,CR}=e\sigma_{CR}^3+f\sigma_{CR}^2+g\sigma_{CR}+h$となる。

これより，$\sigma_{CR}/K_{CR}=e\sigma_{CR}^3+f\sigma_{CR}^2+g\sigma_{CR}+h$ となる。

＜条件3.3＞ 臨界応力では，体積ひずみ曲線に対する接線係数は０となるから，

$d\varepsilon_V/d\sigma=3e\sigma_{CR}^2+f\sigma_{CR}+g=1/K_{CR}$ が得られる。

＜条件3.4＞ さらに，図－１より 臨界応力で変曲点が生じると仮定すれば，(4)式において$d^2\varepsilon_V/d\sigma^2=0$，ゆえに，$d^2\varepsilon_V/d\sigma^2=6e\sigma_{CR}^2+2f=0$となる。

以上４つの条件より，(1)と同様に整理すれば$\sigma_{CR}\leq\sigma\leq\sigma_{cB}$における体積ひずみ$\varepsilon_{V,\,\sigma_{CR}\leq\sigma\leq\sigma_{cB}}$が求まる。

$$\varepsilon_{V,\,\sigma_{CR}\leq\sigma\leq\sigma_{cB}}=\frac{\sigma_{CR}+\varepsilon_{cB}\cdot K_{CR}}{K_{CR}(\sigma_{CR}-\sigma_{cB})^3}(\sigma-\sigma_{CR})^3+\frac{\sigma_{CR}}{K_{CR}} \quad\cdots\cdots(6)$$

3.あとがき (2)式，(5)式，(6)式，の実験値との対応は講演時に示す。 本研究を行なうにあたり関東学院大学 綾亀一教授をはじめ，ピーエスコンクリート㈱ 川添，尾形両氏，現相模原市役所 岩本直登氏らの助力を受けた。付記して謝意を表する。

4.参考文献 1)大内・森島・綾・加藤：コンクリート工学年講，S.55.5, pp.37~40. 2)大内・森島・綾・加藤：セメ技年報34,S.55.12, pp.145~148. 3)森島・大内・岩本・綾：セメ技年報35,S.56.12, pp.194~197.
4)Desay,P. &Krishnan,S. :ACI Jour.Proc.,Vol.61, No.3,1964,pp.345~350.5)加藤清志：研究開発四季報，第5巻，S.54.9，pp.22~25.