

V-370 高強度コンクリートの支圧強度に関する基礎的研究

住友建設㈱ 正員 玉置一清 住友建設㈱ 正員 山本隆治
住友建設㈱ 正員 藤田 学 京都大学 正員 藤井 学

1. 目的

コンクリートの支圧強度 σ_b は、既往の実験結果から載荷版面積 A_a に対する支圧面積 A_c の比 (A_c/A_a) とコンクリート圧縮強度 σ_c に関係することが報告されており、次式で表されている。

$$\sigma_b = \alpha \cdot \sigma_c \cdot \left(\frac{A_c}{A_a} \right)^n \quad \alpha, n \text{ は実験により決まる定数} \quad (1)$$

土木学会コンクリート標準示方書では、既往の実験及び諸外国の規準を参考にして $\alpha=1$ 、 $n=0.5$ と規定している。しかし、この支圧強度式の適用範囲は $\sigma_c=200\sim400\text{kgf/cm}^2$ 程度の普通コンクリートとしており、 $\sigma_c>400\text{kgf/cm}^2$ の高強度コンクリートにおいては同一の A_c/A_a に対する支圧強度は小さくなる傾向にあるという指摘もある。そこで、本研究では、コンクリート圧縮強度を $400\sim1200\text{kgf/cm}^2$ と広範囲とした支圧実験を行うことにより、標示式の適用範囲を確認し、高強度コンクリートまで適用可能である支圧強度式の提案を試みた。

2. 支圧実験結果

支圧実験供試体は $\phi 15 \times 30$ (cm)の円柱とし、 A_c/A_a を図1に示す1, 2, 4, 9, 16の5種類とした中心圧縮荷重のみとした。コンクリート強度は、表1に示す3種類である。最大荷重の実験値と標示式による計算値を表1(a)に示す。最大荷重の実験値は

標示式適用範囲であるS400においても計算値に比べて全体に低め

であり、高強度になる程その傾向は大きくなる。特に、S1200における実験値は計算値の60~70%程度であり、標示式の適用は無理があり、しかも危険側の評価となる。

$A_c/A_a=4$ 以上の小さな載荷版による支圧破壊は、載荷版直下のY字形成と放射状のクラックを伴った形態であり、コンクリート強度による明確な差異は存在しなかった。

$A_c/A_a=2$ では、破壊形態はコンクリート強度により異なる。S400においては、支圧強度は計算値に一致し、その破壊形態は放射状のクラックは生じないで、せん断型の圧縮破壊となった。S1200では、載荷版に対するかぶりコンクリートの剥落が著しく生じ、載荷版を直径とする単純圧縮破壊と同様の挙動を示し、支圧強度は圧縮強度とほぼ同程度となった。S800では、それらの中間程度の支圧強度となり、かぶりコンクリートの剥離後の圧縮破壊であった。

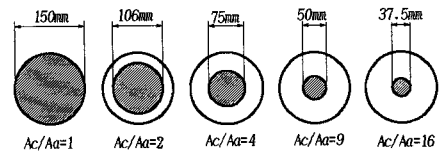


図1 載荷版サイズ

表1 コンクリート強度

Series	圧縮強度 kgf/cm ²	引張強度 kgf/cm ²	圧縮強度 引張強度
S400	464	95.3	19.1
S800	785	48.3	16.3
S1200	1098	59.0	17.3

3. 理論式の提案

供試体中心軸及び表面に生ずる引張応力の $\max$ 値が引張強度に達したときの荷重値を理論値と仮定して、実験値と比較したものを表1(b)に示す。ここで、引張応力の計算には軸対称要素を用いた3次元FEM解析を用いた。圧縮強度をパラメータとした標示式よりも、引張強度をパラメータとして求めた理論値の方がコンクリート強度による差異が少なく、 $A_c/A_a=2$ を除いて、その最大荷重/理論値の比は、ほぼ1.3程度となる。そこで、FEM解析による横方向引張応力の $\max$ 値が引張強度の1.3倍に達した時を破壊と考えた理論値Ⅱは、 $A_c/A_a=2$ を除いて最大荷重をほぼ正確に表していると考えられる。 $A_c/A_a=2$ では、本理論によって最大荷重を推定することはできていないが、理論値Ⅱは表面クラック発生荷重に一致していることが分かる。

表2 支圧実験結果と計算値及び理論値

		実験値		(a)		(b)		(c)	
		Pmax (tf)	Pcr (tf)	標示式 計算値 (tf)	Pmax 計算値	理論値 (tf)	Pmax 理論値	理論値Ⅱ (tf)	Pmax 理論値Ⅱ
S400	$A_c/A_a=2$	57.3	44	58.0	0.99	32.8	1.75	42.7	1.34
	4	34.4	26	41.0	0.84	26.2	1.31	34.1	1.01
	9	24.0		27.3	0.88	20.2	1.19	26.2	0.92
	16	18.9		20.5	0.92	15.2	1.24	19.8	0.95
S800	$A_c/A_a=2$	79.9	59	98.1	0.81	44.9	1.78	58.4	1.37
	4	49.0	(34)	69.4	0.71	35.9	1.38	46.6	1.06
	9	34.9		46.2	0.76	27.6	1.26	35.9	0.97
	16	28.5		34.7	0.82	20.8	1.37	27.1	1.05
S1200	$A_c/A_a=2$	100.9	72	137.3	0.73	54.9	1.84	71.3	1.42
	4	56.2	(51)	97.1	0.58	43.8	1.28	56.9	0.99
	9	41.0		64.7	0.63	33.7	1.22	43.9	0.93
	16	34.9		48.6	0.72	25.4	1.37	33.1	1.05

以上の結果より、 $Ac/Aa=4$ 程度以上となる小さな載荷版に対する支圧強度は、圧縮強度よりも、むしろ引張強度をパラメータとして算定することにより高強度コンクリートまで推定でき得ると考えられる。

理論値Ⅱの数式化を行い、ついで $Ac/Aa=1\sim2$ 程度における圧縮破壊まで含めた支圧強度式への展開を試みる。本研究では、横引張応力と Ac/Aa の関係をFEM解析の結果から回帰して求めることとし、既往の支圧強度式から (Ac/Aa) のべき関数としている。図2に鉛直方向応力 σ_z で無次元化した中心割裂応力及び表面横方向応力を示す。

中心割裂クラック発生強度は、無筋供試体においては破壊強度と等しくなる。また、表面クラック発生時にかぶりコンクリートの横拘束力が完全に喪失されるものと仮定すると、その時の支圧応力が既に圧縮強度を上回っている場合には、表面クラック発生と同時に破壊が生じる。表面クラック発生時に、支圧応力が圧縮強度を下回る場合には、支圧応力は圧縮強度となるまで上昇した後に破壊が生じ、支圧強度は圧縮強度に等しくなる。

以上の条件を表すと支圧強度の近似理論式は次式となる。

$\sigma_c/\sigma_t \geq 14$ の時

$$\begin{cases} \sigma_b = \sigma_c & \left\{ 1 \leq \frac{Ac}{Aa} \leq \left(\frac{\sigma_c}{6.44 \cdot \sigma_t} \right)^{1.139} \right\} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \sigma_b = 6.44 \cdot \sigma_t \cdot \left(\frac{Ac}{Aa} \right)^{0.878} & \left\{ \left(\frac{\sigma_c}{6.44 \cdot \sigma_t} \right)^{1.139} \leq \frac{Ac}{Aa} \leq 7.2 \right\} \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \sigma_b = 16.11 \cdot \sigma_t \cdot \left(\frac{Ac}{Aa} \right)^{0.414} & \left\{ 7.2 \leq \frac{Ac}{Aa} \leq 16 \right\} \end{cases} \quad (4)$$

$\sigma_c/\sigma_t < 14$ となるコンクリートでは、破壊条件はクラック発生後ではなく、かぶりコンクリートの側圧と3軸圧縮破壊包絡線より決まる。このかぶりコンクリートと3軸圧縮強度の関係式として、Mohrの破壊包絡線を用いて理論的に表した藤井の理論式¹⁾は、近似的に標式式とほぼ等しいものと考えられる。

支圧強度を引張強度で無次元化し、本理論式と標式式及び実験値と比較したものを図3に示す。実験値は引張強度に関して明らかに相関関係を示し、引張強度をパラメータとした本理論式は、いずれのコンクリート圧縮強度においても実験値とよく一致していることがわかる。

4. まとめ

支圧応力による破壊挙動は、圧縮強度/引張強度の比 (σ_c/σ_t) 及び載荷面積比 (Ac/Aa) によって次に示す4種類に分類される。

- ① 載荷版直下の3軸圧縮破壊 式(1)
- ② 表面クラック発生後、支圧応力は圧縮強度まで上昇し単軸圧縮破壊 式(2)
- ③ 表面クラック発生と同時に、載荷版直下の圧縮破壊 式(3)
- ④ 内部横方向応力による割裂破壊（表面クラックは生じない） 式(4)

σ_c/σ_t が14程度以下のコンクリートにおいては、支圧応力は3軸圧縮破壊に支配され圧縮強度をパラメータとした標式式の適用範囲となる。 σ_c/σ_t 比が14より大きくなる範囲では支圧破壊は割裂応力に支配され、引張強度をパラメータとした本近似理論式は実験値をよく表している。複合応力下での内部クラック発生条件を単純に引張強度だけで評価することは不可能であるが、本理論式は、 $Ac/Aa=16$ までの範囲で有れば、圧縮強度 σ_c と引張強度 σ_t をパラメータとして支圧破壊挙動を簡便に分類でき、高強度コンクリートにも適用可能な支圧強度推定式であると考えられる。

5. 参考文献

- 1) 藤井 学：プレストレストコンクリート部材の定着部補強に関する基礎的研究、Aug. 1971

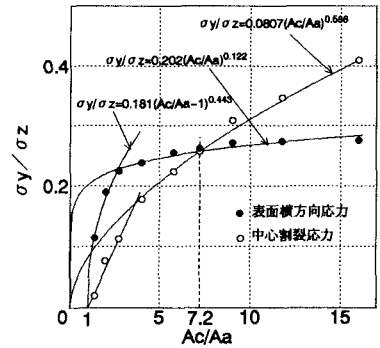


図2 FEM弾性解析による横方向引張応力度

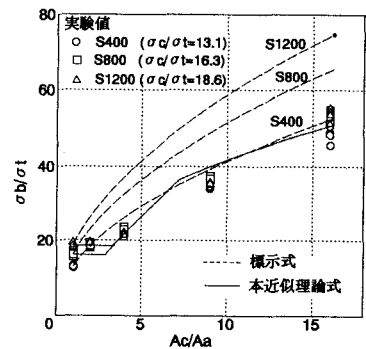


図3 近似理論式と標式式との比較