

東京大学 学生員 二羽 淳一郎
東京大学 学生員 前川 宏一

1. はじめに

鉄筋コンクリート部材のうち、その破壊が、2軸の圧縮-引張域で起こるものは数多く、また、ひびわれ発生の問題も、引張域を含む領域での問題である。したがって、破壊について正確に解析していくためには、引張域を含めた、一般的なコンクリートの破壊規準が必要となる。⁽¹⁾ 引張域を含む2軸の応力状態での破壊規準として、現在、有用であると考えられるものに、Kupferの規準がある。

2. 1軸強度とシリンドラ強度の関係

Kupferのデータは、引張域を含む領域での破壊時応力状態としては、信頼すべきものと考えられるので、それをもとに考察する。Kupferは、破壊規準を記述する際に、破壊時の2主応力を、コンクリートの1軸圧縮強度 f_c 、及び1軸引張強度 f_t で、無次元化して示している。したがって、通常、用いられる、コンクリートのシリンドラ強度 f_c' 、あるいは、割裂強度 f_{ct} と、これらの強度との関係を明らかにしないと、Kupferのデータを正しく用いることはできないと考えられる。従来より、 f_c と f_t は、ほぼ同じであると考えられ⁽²⁾、充⁽³⁾分、信用できるものと思われる。また、 f_t と f_{ct} の間には、 $f_t = 0.583 f_{ct}$ という関係がある⁽³⁾。そこで、 f_c と f_{ct} が、等しくなるように、 f_c と f_{ct} の関係を定めることが、ひとつの方法として考えられる。シリンドラ強度 f_c' は、直径と高さの比が1:2の円柱供試体に、載荷板を当て、端面拘束を除かないまま、求めるものである。一方、Kupferの1軸圧縮強度 f_c は、20×20×5(cm)のコンクリート板に“ガラス状載荷板”を用い、拘束を除いて、求めたものである。また、さらに、 f_{ct} は、5×5×20(cm)の角柱供試体について、同じ条件で求めた値と、一致することを、Kupferは、明らかにしている。

以上より、 f_c と f_{ct} の間には、次の関係があると考ええる。

$$f_c = K_1 \cdot K_2 \cdot f_{ct} \quad \dots [1]$$

但し、 K_1 : 形状・寸法による補正係数

K_2 : 拘束の有無による補正係数

K_1 は、シリンドラ強度については、1:2と1:4の場合で

$K_2 = 0.90 \sim 0.95$ である⁽⁴⁾。 K_2 については、正確には、評価で

きないのであるが、後に、 K_1, K_2 をまとめて、 $K_1 \cdot K_2 = 0.9$ と

して補正してみる。つまり、Kupferの f_c を、0.9で割ったものを、計算

上のシリンドラ強度 $f_{c,cal}$ とし、さらに、計算上の割裂強度 $f_{t,cal}$ を、

$f_{t,cal} = 0.583 f_{c,cal}$ として求め、Kupferにより実測された f_{ct} と比較した。

その結果を表-1に示す。表より、 $f_{ct} = 590 \text{ kg/cm}^2$ の場合は、 $f_{ct}/f_{t,cal}$ が

1.15となり、精度が、良くないことがわかる。しかし、それ以外の、 $f_{ct} =$

190, 315 kg/cm^2 の場合では、 $f_{ct}/f_{t,cal}$ は、ほぼ1.0となるのである。

そこで、Kupferのデータ自体の妥当性を検討するため、図-1に、用

いたコンクリートの f_{ct} と、セメント水比 C/W の関係をプロットした。この図

より認められるように、これらの3種のコンクリート強度間には、従来指摘さ

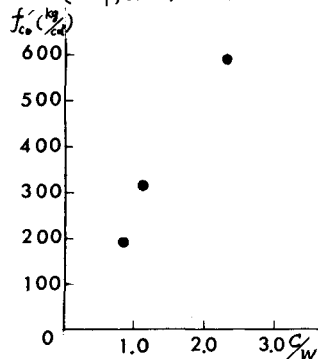
れているような、直線関係は、存在していない。したがって、いずれかのデ

ータに、問題が含まれていることが、予想される。

表-1. Kupferのコンクリート強度データ

N_o	W/C	$f_{c,cal} (\text{kg/cm}^2)$	$f_{t,cal} (\text{kg/cm}^2)$	$f_{ct} (\text{kg/cm}^2)$	$f_{ct}/f_{t,cal} = \frac{f_{ct}}{0.583 f_{c,cal}}$	$f_{ct}/f_{c,cal}$
1	1.2	190	20.6	211	20.7	1.00
2	0.9	315	28.7	350	28.9	0.99
3	0.43	590	50.6	656	44.0	1.15

図-1. $f_{ct} - C/W$ 関係
(Kupfer データ)



これを明らかにするために、図-2には、 $f_{co}' = 190, 315, 590 \text{ kg/cm}^2$ の各強度の、圧縮-引張域での破壊時応力状態データを、無次元化せず、実際の数値で、示した。この図より、 $f_{co}' = 590 \text{ kg/cm}^2$ のデータは、他の2つのものと異なった傾向を示すものであることがわかる。

したがって、3種の f_{co}' のデータのうち、 $f_{co}' = 590 \text{ kg/cm}^2$ のものには、問題があると推定できる。そこで、以後は、 $f_{co}' = 590 \text{ kg/cm}^2$ のデータは、除外して、考察していくことにする。

結局、以上より、1軸圧縮強度 f_{co}' の適当な範囲では、次式で、 f_{co}' 、 f_{ct} と、 f_{ct}' の関係が得られる。

$$f_{ct}' = 0.9 f_{co}', \quad f_{ct} = 0.583 f_{co}' \dots [2a, 2b]$$

3. 2軸圧縮-引張域での破壊規準提案式

データと規準式の精度を評価するために、破壊時応力 (σ_1, σ_2) を、それぞれ、 f_{co}' 、 f_{co}' で無次元化し、原点との距離 $d = \sqrt{(\frac{\sigma_1}{f_{co}'})^2 + (\frac{\sigma_2}{f_{co}'})^2}$ を求め、データから得られる d_{meas} と、規準式から得られる、同一方向の d_{cal} を比較した。Kupferの規準式は、2軸圧縮-引張域で、 $f_{co}' = 590 \text{ kg/cm}^2$ のデータで含めず評価している。したがって、表-2に示されるように、明らかに、他の $f_{co}' = 190, 315 \text{ kg/cm}^2$ のデータに対しては、精度が良くない。また、図-3に示されるように、規準式が、1軸圧縮強度点を、通っていないという問題もある。

そこで、 $f_{co}' = 190, 315 \text{ kg/cm}^2$ のデータによく適合すること、及び、必ず、1軸引張強度点と、1軸圧縮強度点と通ることを目的として、ここで、新たに、次の破壊規準式を提案する。

$$\frac{\sigma_1}{f_{co}'} = \sqrt[3]{1 + \frac{\sigma_2}{f_{co}'}} \dots [3] \quad \begin{matrix} \text{但し、} \sigma_1 \geq 0 \\ \sigma_2 \leq 0 \end{matrix}$$

Kupferの規準式及び、この提案式を、Kupferのデータとともに、図-3に、プロットした。また、表-2には、その精度を示した。この表より、 f_{co}' の適当な範囲では、[3]式が、充分精度良く、データと推定していることがわかる。

4. 2軸引張域での問題

2軸の引張域で、Kupferは、最大主応力説を採用している。しかし、2軸引張下では、等方2軸引張状態に近づくにつれて、2軸引張り効果が現われ、ひびわれ発生荷重の低下現象が、みられるという、実験データもある⁽⁵⁾。これは、明らかに、Kupferの規準とは、異なる現象である。

を念むコンクリート一般的な破壊規準について、さらに、検討していく必要がある。

- (1) Kupfer, H. B. & Gerstle, K. H.: Behavior of Concrete Under Biaxial Stresses, Jour. of EHD, ASCE, Vol. 99, No. EH4, (1973. 8)
- (2) 町田篤彦: コンクリートの圧縮試験に関する基礎研究, 土木学会論文報告集, No. 297, (1978. 11)
- (3) 岡村 寿: コンクリート構造物の限界状態設計法, 共立出版株式会社, (1978)
- (4) 近藤泰雄, 坂野雄監修: コンクリート工学ハンドブック, 朝倉書店, (1965)
- (5) 前田建設工業技術研究所: Private Communication

図-2. 圧縮-引張域での破壊時応力

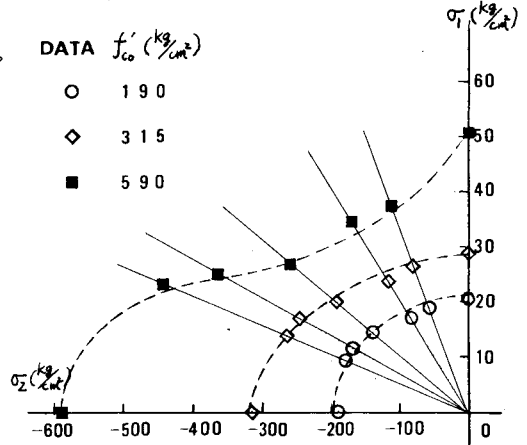


図-3. 圧縮-引張域での破壊規準式

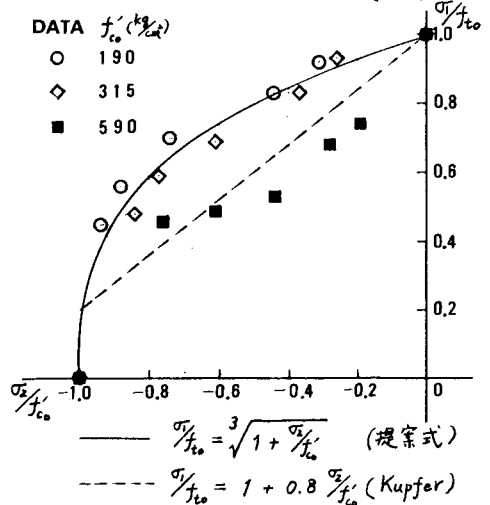


表-2. Kupferのデータと各規準式との比較

$\frac{d_{meas}}{f_{co}'}$	Kupfer 規準式		提案式	
	平均	変動係数(%)	平均	変動係数(%)
190	1.16	9.7	1.03	2.1
315	1.11	6.8	0.98	1.8
590	0.97	6.1	0.86	11.3
190, 315	1.14	8.7	1.01	2.8
190, 315, 590	1.08	11.0	0.96	9.4

但し $d = \sqrt{(\frac{\sigma_1}{f_{co}'})^2 + (\frac{\sigma_2}{f_{co}'})^2}$, d_{meas} : データ, d_{cal} : 計算値

この問題について対処するためにも、引張域