

V—14 繊維コンクリートの Pull-out 強度について

北海道工業大学 正会員 堀口 敬
 学生員 菊地 浩一
 学生員 金沢 聡志

1 まえがき

コンクリートの表層強度は、コンクリート表面に生ずる外力抵抗性としての意味から重要な力学特性である。例えば、凍結融解作用に対する抵抗性、剝離現象、摩耗特性等の特性を考慮する場合に重要な意味を持つてくる。表層強度を推定する方法としては、超音波法、表面硬度試験法等があるが、シュミットハンマーによる反発係数や釘引抜き試験法等も一種の表層強度推定試験法といえよう。また、主として圧縮強度を推定する場合の非破壊試験法として、Mallhotraが提案したPULL-OUT試験法がある¹⁾²⁾。本報告は、表層強度を調べる方法として一種のPULL-OUT試験法を用いた。表層強度に影響を及ぼす配合因子として今回の実験では、鋼繊維混入量、及びその形状、ポリマーディスパージョンの混入量、及び水セメント比をとりあげた。そのほかに、埋込深さの影響もあわせて因子にとりあげた。また、他の力学的強度との相関を見るために、圧縮強度、曲げ強度試験を行なった。さらに人工切欠きを入れた供試体の直接引張試験を行ない、これにより得られる応力拡大係数との比較等も併せて検討した。

2 実験概要

2-1 使用材料

セメントは、普通ポルトランドセメントを使用した。使用した鋼繊維は、 $0.5\text{ mm} \times 0.5\text{ mm} \times 30\text{ mm}$ (アスペクト比 $l/d = 53.2$) で直線状のもの、先端をフック加工したものを用い容積混入率で1.0%、1.5%とした。使用したポリマーディスパージョンは、SARラテックスを用いその混入量は 50 kg/m^3 である(ポリマーセメント比で平均15%)。配合は、水セメント比を40%、45%に変化させ、細骨材率は60%とした。粗骨材の最大粒径は 15 mm とした(Table-1, 2)。

2-2 練り混ぜ

ミキサーは、強制練りミキサー(オムニミキサー)を用い、骨材、及びセメントを各30秒練り混ぜ後、鋼繊維をファイバーボールができないように手で均等に投入し、2分間練り混ぜた。その後、水あるいは水とポリマーディスパージョンをあらかじめ混ぜたものを投入し、低速で30秒さらに高速において1分30秒の計2分間練り混ぜた。練り混ぜたコンクリートは、スランプ、フローなどの試験をしたのち型枠に各々突棒で突きながら2層に分けて打設し、棒状バイブレーターで外側から締固め、表面仕上げはコテで入念に行なった。このとき、鋼繊維と水が分離しないように、また鋼繊維が一部にかたまらないように十分注意しながら仕上げていった。打設終了後の鋼繊維補強コンクリート(以下SFRCと略す)供試体は、材令1日で脱型し、材令21日まで水中養生し、その後恒温室で気乾養生し、材令28日で実験を行なった。鋼繊維補強ポリマーセメントコンクリート(以下SFRC

Table-1

NO.	Kf	Vf	W/C	P
1	1	1	1	1
2	1	1	1	2
3	1	1	2	1
4	1	1	2	2
5	1	2	1	1
6	1	2	1	2
7	1	2	2	1
8	1	2	2	2
9	2	1	1	1
10	2	1	1	2
11	2	1	2	1
12	2	1	2	2
13	2	2	1	1
14	2	2	1	2
15	2	2	2	1
16	2	2	2	2

Table-2

Factor	1	2
Vf (%)	1.0	1.5
P (kg/m ³)	0.0	50.0
Kf	Hooked	Straight
W/C (%)	40.0	45.0

(C Cと略す)供試体においては、水中養生を材令7日まで行ない、その後気乾養生し、材令28日で実験を行なった。水中養生は脱型後20℃±2℃の水槽に入れ、気乾養生は20℃の恒温室で行なった。

2-3 試験方法

PULL-OUT強度試験用の供試体は、8cm×8cm×20cmの角柱供試体を同一の配合で3本用いた(Fig.-1)。PULL-OUT金具の埋込深さ(h)は表面より3.6mmと7.2mmの深さで1つの供試体にそれぞれ埋込んだ(Fig-2)。Photo.-1に示す装置を用い、従来のPULL-OUT試験とは異なり軸受けリングを用いずに測定した。そして、PULL-OUT強度は次式で求めた。

$$\tau = P/A$$

$$A = \pi S (d_1/2 + d_2/2)$$

$$S = \sqrt{h^2 + (d_1/2 - d_2/2)^2}$$

また、破壊面積A'から

$$d_1 = \sqrt{4A'/\pi}$$

の式を用いてd₁を求めた。

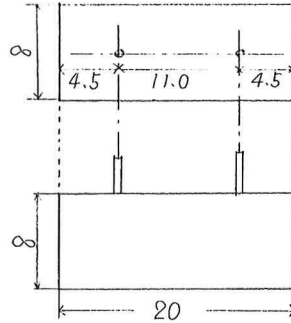


Fig-1

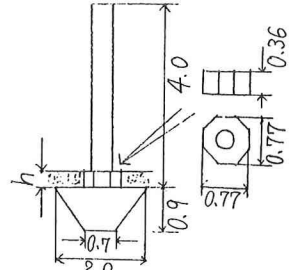


Fig-2

ここで τ : PULL-OUT強度 (kg/cm^2)

P: 最大引抜き荷重 (kg)

A: コンクリートの推定破壊断面積 (cm^2)

d₁: コーン上面推定直径 (cm)

d₂: コーン下面直径 (cm)

h: コーン高さ (3.6mm, 7.2mm)

引張強度試験は、直接引張試験法で行ない、人工切り欠き ($a = 7\text{mm}$) をつけた4cm×4cm×16cmの供試体を3本作成し、応力拡大係数は次式によって求めた(Fig-3, Photo.-2)。

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a F(2a/W)}$$

$$2a/W = \xi \text{ とおく}$$

$$F(\xi) = (1 + 0.122 \cos^4 \frac{\pi \xi}{2}) \sqrt{\frac{2}{\pi \xi} \tan \frac{\pi \xi}{2}}$$

$$F(\xi) = \frac{1.222 - 0.561\xi - 0.205\xi^2 + 0.471\xi^3 - 0.190\xi^4}{\sqrt{1-\xi}}$$

K_I: 応力拡大係数 ($\text{kg}/\text{cm}^{3/2}$)

σ : 最大引張強度 (kg/cm^2)

a: 切り欠き深さ (cm)

W: 供試体幅 (cm)

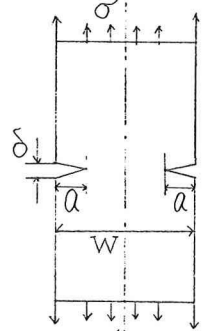


Fig-3

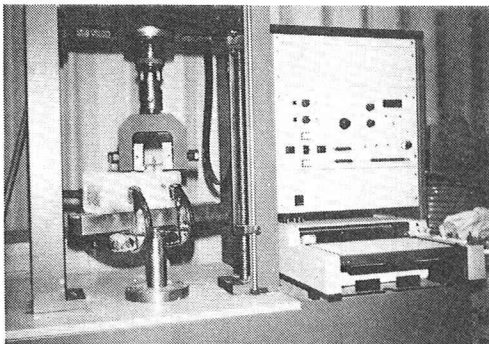


Photo.-1

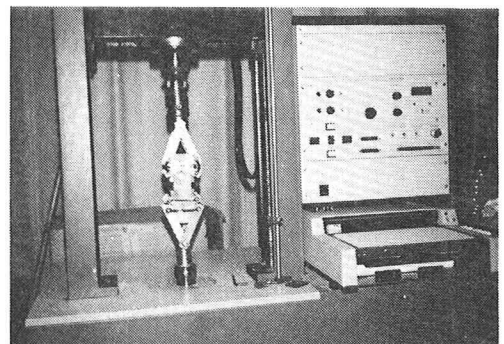


Photo.-2

曲げ試験は、 $7.5\text{ cm} \times 7.5\text{ cm} \times 40\text{ cm}$ の供試体を4本作成し、圧縮試験では、 $\phi 10\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ の円柱供試体を3本作成した。

Table-3

3 実験結果及び考察

今回の実験で得られた結果をまとめてみるとTable-3のようになる。

表中の A' とは、コンクリート表面の破壊面積を測定した値である。

3-1 引抜き荷重と破壊面積との関係 (Fig.-4)

本実験は、軸受けリングを用いずに行なったため図に示すように引抜き荷重の増加に伴って供試体の破壊面積も増加している傾向がみられた。また、埋込深さ(h)の増加についても同様に破壊面積に比例して引抜き荷重が増加する傾向がみられた。これらの関係は、ポリマーゲイスパーションの混入の有無に関係なく、むしろ埋込深さに影響する傾向がみられた。

3-2 引抜き荷重と圧縮強度との関係 (Fig.-5)

引抜き荷重と圧縮強度との関係は、右よりの直線関係が得られ埋込深さが大きくなるに従ってその勾配がさつくなり、引抜き荷重のばらつきも大きくなる傾向を示している。また、この関係はSFRCとSFRPCCとの差はなく同一直線上にある。

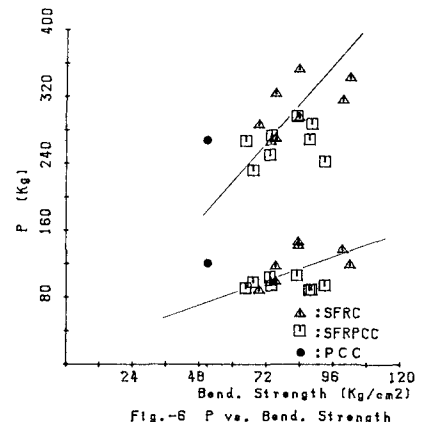
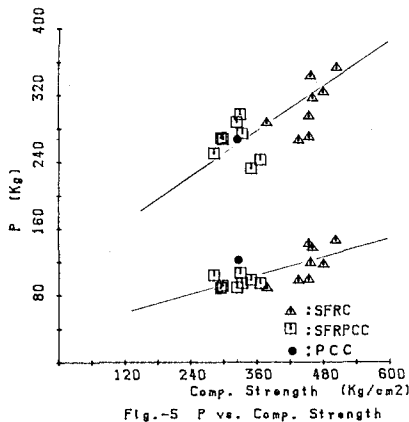
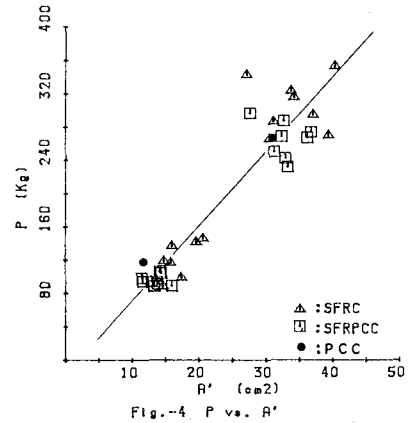
3-3 引抜き荷重と曲げ強度との関係 (Fig.-6)

引抜き荷重と曲げ強度との関係はほぼ直線関係となり、その勾配は埋込み深さの増加に伴いさつくなる傾向がみられた。

3-4 引抜き荷重と応力拡大係数(K_{ic})との関係 (Fig.-7)

亀裂の伝播性状のパラメータとなる応力拡大係数と引抜き強度との関係を示し

No	P (Kg)		τ (Kg/cm ²)		Physical Properties (Kg/cm ²)			A' (cm ²)		A (cm ²)	
	h1	h2	h1	h2	Comp.	Bend.	K_{ic}	h1	h2	h1	h2
1	145.7	352.7	8.15	9.19	501.65	83.41	97.62	20.60	40.26	17.92	38.55
2	104.3	250.0	9.84	8.70	281.60	73.13	86.56	14.38	31.25	11.85	29.65
3	88.0	286.0	7.50	9.94	377.60	69.25	110.18	14.59	31.12	12.00	29.52
4	91.0	267.0	8.34	7.85	297.70	64.46	98.01	13.79	36.23	11.23	34.55
5	136.7	315.3	10.73	9.49	459.96	99.34	113.71	15.97	34.16	13.35	32.51
6	106.3	296.7	9.17	11.36	329.80	82.81	113.33	14.21	27.64	11.62	26.09
7	141.3	294.7	8.13	6.86	453.59	83.52	113.72	19.64	37.02	16.97	35.34
8	89.0	287.3	6.55	8.88	323.83	88.17	104.21	15.92	32.68	13.32	31.07
9	116.7	323.0	9.04	10.13	479.17	75.20	102.83	15.82	33.70	13.21	32.05
10	94.0	273.7	10.58	7.87	332.95	73.20	98.88	11.57	36.76	9.06	35.09
11	97.3	265.3	8.84	10.06	433.96	73.40	112.78	13.51	30.57	10.94	29.01
12	98.3	231.7	11.18	7.39	348.66	67.09	88.79	11.49	33.25	9.00	31.61
13	118.7	342.7	10.30	13.67	455.82	101.77	141.08	14.77	27.09	12.18	25.55
14	94.0	242.0	9.19	7.92	365.60	92.83	107.67	12.87	32.87	10.32	31.25
15	98.7	269.3	6.96	7.35	452.60	75.18	92.44	17.37	39.36	14.75	37.65
16	88.7	268.7	8.24	9.16	294.50	87.35	96.62	13.27	32.37	10.72	30.77
PC	121.5	267.7	13.23	9.22	325.59	50.71	95.16	11.71	30.81	9.19	29.22



たのが図-7である。埋込深さが3.6mmの場合に比べ7.2mmになると引抜き荷重との間に直線関係がみられた。

3-5 引抜き強度及び表層強度

前述の計算式により求めたPULL-OUT強度(τ)をMalhotraの結果と比較すると、その試験構造の差異による大きな影響が出てくる。今回の実験ではτは埋込深さにほとんど依存せず7kg/cm²~14kg/cm²までの値をとりMalhotraの結果の1/8程度となった。次に表層強度を佐伯らの方法⁴⁾により計算すると、埋込深さが7.2mmの場合で約90kg/cm²~110kg/cm²程度の値をとり佐伯らの報告⁵⁾によるSFRCの表層強度の2倍程度となった。POP-OUT試験についての比較をみると、Bachheらの結果⁶⁾に対して普通モルタルとの比較で約1割程度大きい値を示した。

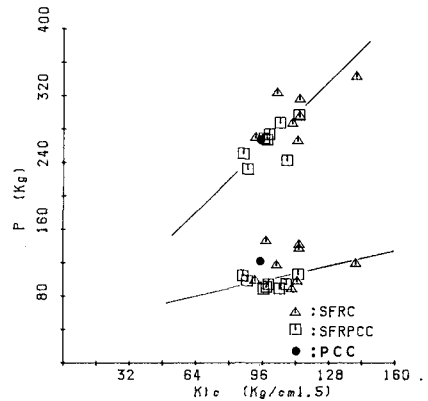


Fig.-7 P vs. K1c

Table-4

インシ	ハイアウト	シフト	v=s^2/j	F-value	インシヨリ (%)
Kf	21.23	1	21.23	7.28	18.78
Vf	—	—	—	—	—
Kr	38.35	1	38.35	13.15	36.34
Kw	—	—	—	—	—
Kf*Uf	—	—	—	—	—
Kf*W/C	—	—	—	—	—
Kf*FR	—	—	—	—	—
ERROR	37.91	13	2.92	—	44.37
TOTAL	97.49	15	—	—	100.00

3-6 破壊面積の分散分析

破壊面積の結果により分散分析を行なうとTable-4のようになる。

有意となった因子は、鋼繊維のフックの有無とポリマーディスパージョンの混入量であった。その効果グラフがFig. 8である。鋼繊維をフック加工することにより破壊面積は約1.17倍となり、ポリマーディスパージョンを混入することにより0.81倍となった(Fig. 8)。

最後に、本研究の遂行にあたり御指導いただいた北海道大学佐伯助教に感謝致します。

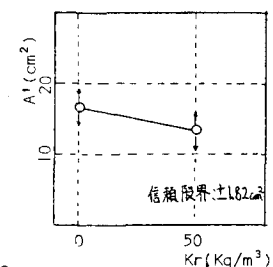
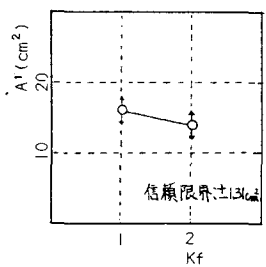


Fig.8

参考文献及び資料

- 1) V.M.Malhotra and G.Carette; Comparison of Pullout Strength of Concrete with Compressive Strength of Cylinders and Cores, Pulse Velocity, and Rebound Number, ACI JOURNAL/ May-June 1980
- 2) V.M.Malhotra; Evaluation of the pull-out test to determine strength of in-situ concrete, Matériaux et construction V8, No43, 1975
- 3) 岡村弘元; 線形破壊力学入門, 培風館, 1976
- 4) 佐伯, 高田, 藤田; コンクリート表層部の劣化についての2.3の実験, コンクリート工学年次講演会論文集, 1980
- 5) 佐伯, 菅原; 混合セメントを用いた鋼繊維補強コンクリートの表層強度について, 土木学会第37回年次講演会講演概要集 第5部 昭和57年10月
- 6) HANS HENRIK BACHE and JENS CHRISTIAN ISEN; Modal Determination of Concrete Resistance to Popout Formation, ACI JOURNAL/ JUNE 1968