

V-23 繊維補強コンクリートのPull-Out試験について

北海道工業大学 正員 堀口 敬

阿部 龍矢

石田 勇治

牧野 正林

1. はじめに

Pull-Out試験法は、構造体コンクリートの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Malhotraが提案した試験法である¹⁾。筆者らは、すでに鋼繊維補強コンクリートにおけるこのPull-Out強度と曲げ強度或いは曲げ靱性値との相関が非常によく、構造体コンクリート強度をかなりの確かさで推定できる試験法であることを報告している²⁾。

本報告は、Pull-Out 強度に影響を及ぼす配合因子として鋼繊維混入率及びその形状の異なるもの、ポリエチレン繊維混入率を取り上げ、それぞれの因子の有意性を明確にするため、単位セメント量、水セメント比、細骨材率は一定とした。またボルトの埋め込み深さと反力リングの内径とによって形成されるコーンの頂角についても、あわせて検討を行った。さらに Pull-Out 強度と他の力学的性状（曲げ強度、圧縮強度、曲げタフネス）との比較検討を行ったものである。

2. 実験概要

(1)使用材料

セメントは、普通ボルトランドセメントを使用した。鋼繊維は、 $0.5 \times 0.5 \times 30$ mm（アスペクト比 $l/d = 53.2$ ）で直線状のものと変断面のものをを用い、容積混入率は 0.5 %、1.0 %、1.5 %、2.0 % とした。配合は、水セメント比を 45 % とし、細骨材率は 60 % とした粗骨材の最大粒径は 15 mm とした。コンクリート供試体は全部で 16 種類の配合を用いその詳しい因子と水準は表-1及び表-2に示すようである。

(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、鋼繊維又はポリエチレン繊維、或いはそれら二者を同時にファイバーボールが出来ないように手で均等に投入し 二分間練り混ぜた。その後水を投入し、低速で 30 秒、さらに高速において 1 分 30 秒の計 2 分間練り混ぜを実施した。その後、こ

表-1 供試体の配合

No.	Vsf	Vsf'	Vpf
1	1	1	1
2	3	1	1
3	4	1	1
4	5	1	1
5	1	1	3
6	1	1	4
7	1	1	5
8	2	1	3
9	3	1	3
10	3	1	2
11	1	3	1
12	1	4	1
13	1	5	1
14	1	2	3
15	1	3	3
16	1	3	2

表-2 因子と水準

因子	水準 (%)				
	1	2	3	4	5
鋼繊維混入率 (直線状) Vsf	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0
鋼繊維混入率 (異形) Vsf'	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0
ポリエチレン繊維 混入率 Vpf	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0

のコンクリートは、二層に分けて型枠に打設し、棒状バイブレーターで外側から締め固めを行なった。この時繊維と水が分離しないように、また繊維の配向が一樣になるように十分注意しながら仕上げていった。

打設終了後のコンクリート供試体は、材令一日で脱型し、20℃、湿度60%の恒温室内で気乾養生し材令28日で実験を行った。

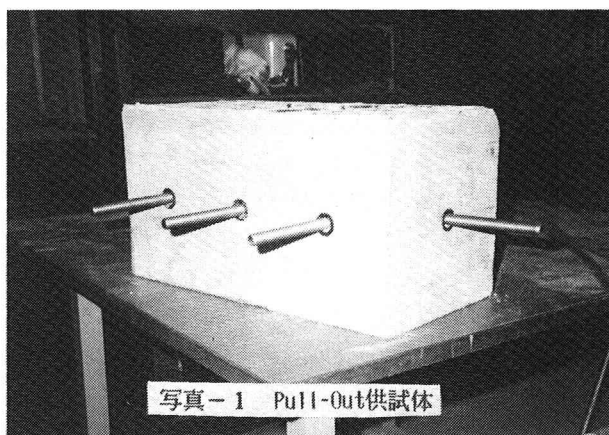


写真-1 Pull-Out供試体

(3) Pull-Out Pull-Out強度試験用の供試体試験法

体は 20 x 20 x 40 cm (0.016 m³) 長方形立方体で打設面と底面を除く四面に Pull-Out 金具を長方形の面に 3 個、正方形の面に 1 個の計 8 個埋め込んだ(写真-1, 2)。Pull-Out試験装置の概要は、図-1に示すようである。Pull-Out強度 S_p は、次の式により求めた。

$$S_p = P / A$$

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

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

ここで、 P は、引張荷重 (N) A は、コンクリートの円錐台側面積 (mm²)、 h はコーンの高さ (mm) 及び d_1, d_2, d_3 は、反力リングの直径の異なるもので、それによって頂角 (α) が $\alpha = 54.5^\circ, 67.0^\circ, 78.0^\circ$ と変化する。

(4) 他の力学 Pull-Out強度とその比較と強度として、圧縮強度、曲げ強度、曲げタフネスも行った。



写真-2 Pull-Out供試体試験後

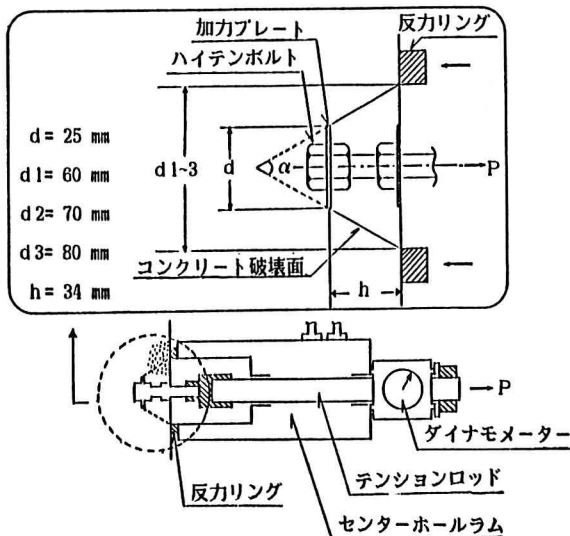


図-1 Pull-Out試験装置

3. 実験結果及び考察

今回の実験の結果をまとめると表-3 になる。Pull-out

強度は 4 本の平均値, その他の値は 3 本の供試体の平均値をもちいた。

図-2 はPull-Out強度とコーンの頂角との関係で配合番号14~16の三種類についての実験値と、森田らによる実験値と解析値³⁾とを比較したものである。この図からPull-Out強度はコーンの頂角が小さくなればなるほど増加する傾向を示すことがわかり、解析値ともほぼ一致することがわかる。

図-3 はPull-Out強度と配合因子との関係で鋼繊維混入量との関係は、右上がりの直線関係が得られるが、図-4 のポリエチレン繊維混入量との関係は明確なものが得られなかった。

Pull-Out強度と他の力学的形状との関係は図-5,6,7に示すように曲げ強度或いは曲げ靱性値として用いられる曲げタフネスとは右上がりの直線関係が得られた。また圧縮強度とはコーンの頂角によりその関係が異なるようである。

4. 結論

今回の実験から以下のことが言える。

(1) Pull-Out強度とコーンの頂角は、頂角が小さくなるほどPull-Out強度も増大しその傾きも大きくなる。

(2) Pull-Out強度は鋼繊維混入量が増加するとともに増大する。

(3) 繊維コンクリート

の強度推定を目的としたPull-Out試験は曲げ強度を推定する場合に有効な試験法と言える。

(4) Pull-Out強度により繊維コンクリートの曲げ靱性を推定することが可能である。

(5) Pull-Out強度により繊維コンクリートの圧縮強度を推定することはコーンの頂角により可能である。

表-3 実験結果のまとめ

N0.	Pull-Out強度 (N/mm ²)		曲げ強度 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	曲げタフネス (KN・mm)
	$\alpha=54.5^\circ$	$\alpha=78.0^\circ$			
1	6.232	——	4.402	37.96	——
2	7.060	3.877	7.085	37.12	30.17
3	——	4.438	9.733	44.32	31.12
4	6.363	3.599	3.781	29.99	27.69
5	6.748	3.296	4.843	34.90	13.17
6	7.044	3.662	6.353	34.38	38.35
7	6.872	3.790	6.620	36.10	17.10
8	6.847	3.313	6.249	30.67	24.71
9	7.558	4.185	5.517	35.87	22.61
10	7.167	4.080	3.844	33.63	27.39
11	7.035	3.807	5.866	30.91	15.04
12	7.963	4.318	7.224	34.52	23.93
13	——	4.943	8.525	40.41	33.80
14	6.536	4.002	4.727	33.67	18.84
15	6.568	3.840	5.552	36.14	23.78
16	6.437	3.724	4.428	31.94	20.74

5. 参考文献

- 1) V.M.Malhotra et al, A C I journal, 1980.
- 2) 堀口：土木学会全国大会概要集 第39号, 1984.
- 3) 森田ら：セメント技術年報 第3号, 1983.

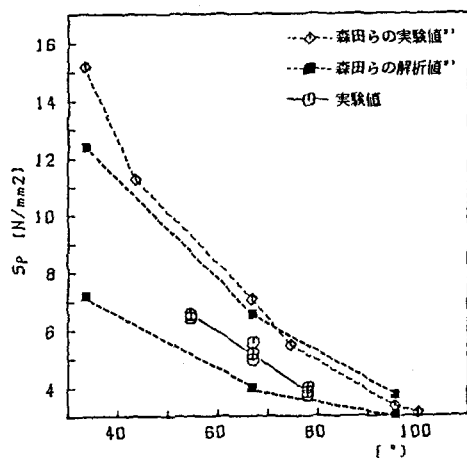


図-2 S_p とコーンの頂角

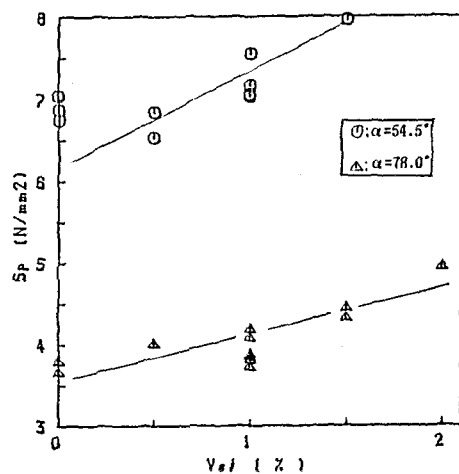


図-3 S_p と鋼繊維混入量

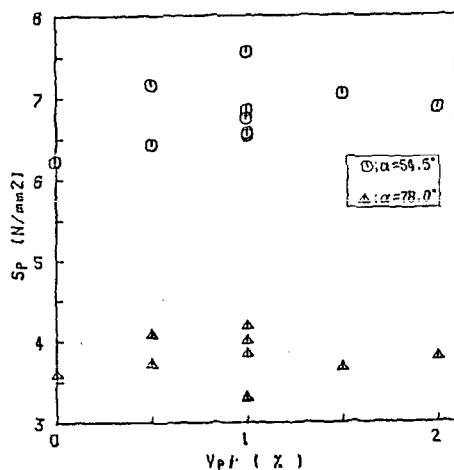


図-4 S_p とポリエチレン繊維混入量

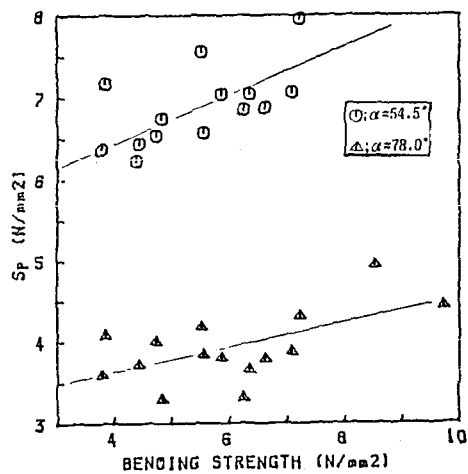


図-5 S_p と曲げ強度

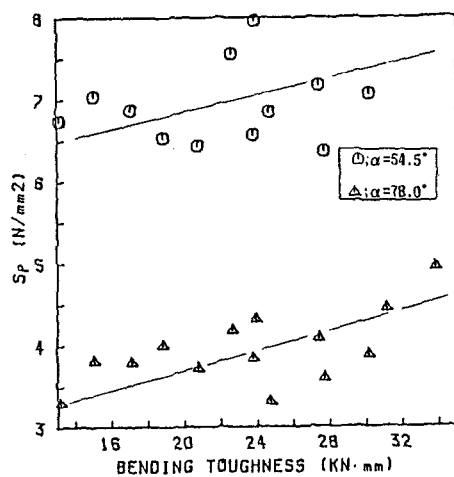


図-6 S_p と曲げタフネス

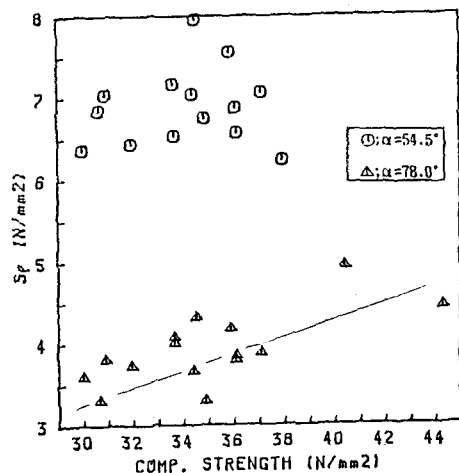


図-7 S_p と圧縮強度