

準微視的スケールに基づく直接二面せん断試験法に関する実験的検討

北海道大学 学生員 ○三浦 泰人
北海道大学 正会員 佐藤 靖彦

1. はじめに

コンクリートは、骨材の配置や形状・セメントペースト-骨材間の付着・セメントペーストや骨材の材料特性値などの様々な要因がひび割れの進展に影響することから、そのひび割れ性状は極めて複雑なものとなる。このようなひび割れ進展挙動を数値解析上で適切に表現するために、準微視的領域、すなわち、上述した要因を評価できるスケールまで対象領域を狭小化する必要がある。そこで、著者らは、メソスケールの引張構成則を実験的に同定することを試みてきた¹⁾。本研究では、その次なる段階として、メソスケールの供試体によるせん断試験法に関する実験的検討を試みた。すなわち、厚さ 5mm の薄片供試体による曲げ試験を行い、逆解析的に引張強度を同定した後、同一試験体を用いた直接二面せん断試験を行い、せん断強度を測定した。また、既往の提案式^{2),3)}をもとに、圧縮強度と引張強度とせん断強度の関連および曲げ強度とせん断強度との関係から、本実験で得られたせん断強度の妥当性を評価した。

2. 実験概要

使用したセメントは普通ポルトランドセメントとした。実験には、水とセメントと細骨材の割合が 0.5:1:3 のモルタルを用いた。なお、細骨材は 1.7mm のふるいを全通したものを使用した。曲げ試験用試験体の作製について以下に述べる。まず、40×40×160mm の角柱供試体を作製し、打設 2 日後に脱型し、水中にて 40 週間養生した。養生終了後、角柱供試体内部から厚さ 5mm、幅 30mm、長さ 70mm の曲げ試験用試験体を作製した。なお、ひび割れを制御する目的で、幅が 20mm となるように載荷面に両側から 5mm のノッチを設けた。曲げ試験用試験体作製後、曲げ試験まで真空デシケーターにて 2 日間静置した。これに加えて、圧縮試験用の ϕ 50mm の円柱供試体も 3 体作製した。力学試験は、引張強度および破壊エネルギーを同定することを目的とした曲げ試験とせん断強度を測定することを目的としたせん断試験を行った。まず、JCI-S-001-2003⁴⁾に準じて曲げ試験を行い、荷重変位曲線

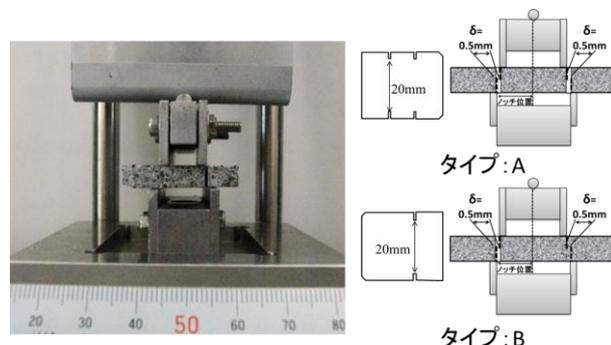


図-1 せん断試験用試験体とせん断試験の様子

から逆解析的に引張強度を同定した。なお、試験体数は 10 体である。次に、曲げ試験後の供試体を用いて直接二面せん断試験を行った。せん断試験には、曲げ試験において載荷位置で割られた 2 つの試験片を用い、ノッチタイプ A および B のせん断試験用試験体を作製した(図-1 参照)。タイプ A は、上下部治具のずれ δ の中心位置に合計 4 箇所ノッチが設けられており、タイプ B は上下部治具のずれ δ の中心位置のどちらか一方にノッチが設けられている。いずれの場合も幅が 20mm となるように両側から 5mm のノッチを設けた。載荷速度は曲げ試験とせん断試験いずれも $1\mu\text{m/s}$ である。

3. 実験結果と考察

本研究では、せん断試験法の妥当性を、①破壊が予定破壊面において生じたか否か、②せん断強度が既往の提案式から得られる値や強度間の関連性と類似しているか否か、の 2 点から判断する。

3.1 破壊形式とせん断強度

図-2 に、本実験において確認された破壊形式の種類を示す。なお、ひび割れの観察には、デジタルカメラの画像をもとにひび割れ図を作製し評価した。本試験では、3 種類のひび割れ性状が確認された。本研究では、破壊形式①はせん断破壊、破壊形式②は予定破壊面外におけるせん断破壊、破壊形式③はねじり破壊と分類する。

この破壊形式をもとに、実験から得られたせん断強度を評価する。表-1 に各試験体におけるせん断強度、破

キーワード 直接二面せん断試験、メソスケール、せん断強度、圧縮強度、引張強度

連絡先 〒060-6281 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目 北海道大学大学院工学院 TEL011-706-6220

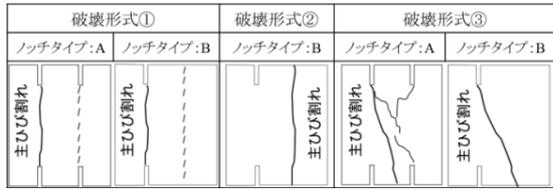


図-2 破壊形式の種類

表-1 破壊形式と実験値および計算値のせん断強度

供試体番号	f_c 実験値		破壊形式		f_t/f_{s1}		f_t/f_{s2}		f_t/f_{s3}		f_t/f_{s4}	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1	7.40	over	①	②	1.02	—	0.51	—	0.71	—	0.79	—
2	7.54	10.81	①	①	1.04	1.49	0.52	0.75	0.72	1.04	0.81	1.16
3	10.48	6.58	①	②	1.45	(0.91)	0.72	(0.45)	1.00	(0.63)	1.12	(0.70)
4	6.08	over	①	②	0.84	—	0.42	—	0.58	—	0.65	—
5	7.54	10.00	①	①	1.04	1.38	0.52	0.69	0.72	0.96	0.81	1.07
6	3.72	10.05	③	①	(0.51)	1.39	(0.26)	0.69	(0.36)	0.96	(0.40)	1.08
7	7.94	13.61	①	①	1.10	1.88	0.55	0.94	0.76	1.30	0.85	1.46
8	8.91	7.92	①	②	1.23	(1.10)	0.62	(0.55)	0.85	(0.76)	0.95	(0.85)
9	6.78	over	①	②	0.94	—	0.47	—	0.65	—	0.73	—
10	11.47	over	①	②	1.59	—	0.79	—	1.10	—	1.23	—
平均	8.24	11.12	—	—	1.14	1.54	0.57	0.77	0.79	1.07	0.88	1.19
変動係数	21.2%	15.3%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注: 平均値と変動係数は、破壊形式: ①の場合の値である。
 本実験における圧縮強度: $f_c=43.54\text{MPa}$, 引張強度: $f_t=4.81\text{MPa}$
 提案式中の引張強度: f_{sp} は割裂引張強度
 Leon式: $f_{s3} = (\sqrt{f_c'} / \sqrt{f_{sp}} - 1) \times f_t$
 Mohr式: $f_{s1} = \sqrt{f_c' \times f_{sp}} / 2$
 Mörsh式: $f_{s2} = \sqrt{f_c' \times f_{sp}}$
 小阪式: $f_{s4} = f_t / \sqrt{1.25m}$
 $m = (n + 2 + 2\sqrt{n + 1}) / n^2$
 $n = f_c' / f_{sp}$

壊形式を示す。タイプ A に着目すると、破壊形式③が 10 体中 1 体のみ確認され、他は破壊形式①であった。せん断強度をみると、破壊形式③が確認されたものは明らかに低い値を示している。一方、タイプ B では破壊形式②が多く、試験機の限界荷重 (2.5kN) を超えるものもあらわれ大きくばらついていた。破壊形式①が生じた試験体は、その数は少ないが、せん断強度はタイプ A のそれより大きく、ばらつきが小さいことがわかる。これらのことから、破壊形式②と③のせん断強度は、曲げやねじりの影響を大きく受けたものであり本論文では適切なせん断強度ではないと判断した。

3.2 せん断強度と既往の提案式による計算値の比較

破壊形式①のひび割れ分布が確認されたせん断強度にのみ着目し、既往の提案式²⁾による計算値からせん断強度の妥当性を評価する。なお、この提案式は、10cm~20cm 程度のスケールのコンクリートを対象としたものである。本論文では、着目する 5mm の領域においても、圧縮強度・引張強度・せん断強度の関連性は保たれているものとして考察を進める。表-1 に実験値と計算値のせん断強度の比を示す。また、同表には、4 つの提案式を示しており、それぞれ、 $f_{s1}, f_{s2}, f_{s3}, f_{s4}$: 計算値のせん断強度, f_c' : 実験値の圧縮強度, f_t : 実験値の引張強度である。提案式から算出された計算値は、 $f_{s1}=7.23\text{MPa}$, $f_{s2}=14.47\text{MPa}$,

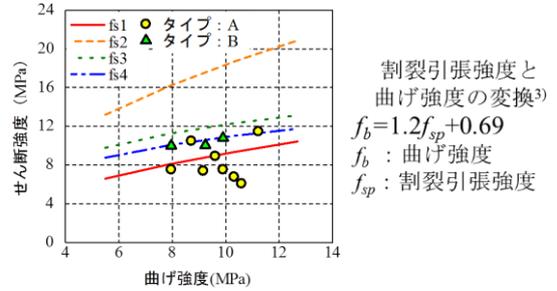


図-3 曲げ強度とせん断強度の関係

$f_{s3}=10.44\text{MPa}$, $f_{s4}=9.33\text{MPa}$ である。小阪ら²⁾は、上記の提案式における圧縮強度と引張強度とせん断強度との関連性を評価しており、実験値と計算値のせん断強度の比の平均値はそれぞれ $f_s/f_{s1}=1.27$, $f_s/f_{s2}=0.63$, $f_s/f_{s3}=0.87$, $f_s/f_{s4}=0.97$ であった。実験結果と比較すると、圧縮強度と引張強度との関連から、本せん断試験によりある程度妥当なせん断強度が測定できると判断できる。

また、図-3 に実験値と計算値の曲げ強度とせん断強度の関係を示す。なお、曲げ強度の計算値はコンクリートの割裂引張強度と曲げ強度の関係³⁾から算出した(図-3 参照)。タイプ A のせん断強度は、計算値のそれと比較して若干低い傾向にあることから、曲げの影響を少なからず含んでいる可能性がある。しかし、タイプ B のせん断強度は、概ね妥当な関係を示している。今後、上下部治具のずれ δ を適切に調節可能なシステムにすることで曲げやねじりの影響を極力小さくし、信頼性のさらなる向上を目指す。

4. まとめ

メソスケールの直接せん断試験法を開発した。破壊形式と各種強度間の関連性の観点から、本試験法の妥当性を判断した結果、おおむね妥当なせん断強度を得ることができた。

5. 参考文献

- 1) 三浦泰人, 佐藤靖彦: NaCl 溶液に浸漬させたモルタルの引張特性とそのモデル化, 日本材料学会, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第 11 巻, pp.43-50, 2011, 10
- 2) 小阪ら: コンクリートの直接せん断強度について, 日本建築学会東海支部研究報告, pp.9-12, 昭和 44 年
- 3) Sandor Popovics: strength and related properties of concrete a quantitative approach, John Wiley & Sons, 1921
- 4) 日本コンクリート工学協会: 切欠きはりをを用いたコンクリートの破壊エネルギー試験方法, 2003