

コンクリート増厚接合面の引張・せん断強度に関する基礎的研究

電力中央研究所 正会員 ○杉本 啓太
電力中央研究所 正会員 西内 達雄

1. はじめに

日本国内のダムの耐震補強工法として、増厚が多く採用される。その設計時に増厚の接合面は一体として扱われることが多い。これは地震時の発生応力が、目荒らし処理を施した接合面の引張・せん断強度が超えないことを現地試験により確認し、さらに用心筋を挿入し露出させることで、一体化を担保するためである¹⁾。しかしながら、接合面の目荒らし状態に明確な規定はなく、目荒らしや差し筋による接合面の力学強度の担保に関して、定量的に検討をした例は少ない。

本研究ではコンクリート増厚工法を対象とし、その接合面の力学特性の把握を目的として、さまざまな接合面状態を模擬した円柱および角柱試験体に対し、割裂引張試験および一面せん断試験を実施し、引張強度と純せん断強度を計測した。また、純せん断強度と引張強度を比較し、簡便に計測可能な引張強度による純せん断強度の推定に関して検討を実施した。

2. 実験概要

試験の状況を図1, 2に示す。割裂試験体はφ146×200mmの円柱であり、試験方法はJIS A 1113:2018に準拠した。せん断試験体は200×200×100mmの角柱とし、試験方法は一面せん断試験とした。L字型治具を試験体の上下に配置し、水平、鉛直方向からそれぞれ軸荷重、せん断荷重を接合面に作用させる。軸荷重は4本のPC鋼棒を用いて導入した。

使用材料は普通ポルトランドセメント、水、細骨材、粗骨材（最大寸法20mm）とした。配合は28日

強度が37MPaとなる設計とし、W/Cは50.4%である。接合面を持つ試験体の作成手順は、半分の型枠に旧コンクリートを打設し、脱型後約20℃環境下で2週間湿布養生した後に型枠に設置して、残った空間に新コンクリートを打設することとした。力学特性、養生方法および材齢は表1に示す。

接合面の処理状況を図3に示す。無処理(N)は打設面をコテ仕上げし、ラップ貼付して養生した。目荒らし(C)は打設面をノミで約5mm程度削り、粗骨材を露出させた。差し筋(S)は打設面にエポキシ接着剤を充填した孔を設け、D10鉄筋（降伏強度：365MPa）を挿入した。差し筋の本数は1本(S1)、2本(S2:間隔100mm)とし、定着長は52mmとした。

3. 実験結果

割裂試験およびせん断試験結果を表2に示す。ここで、割裂引張試験では、割裂破壊後に試験体が鉛直方向に挟まれて破壊荷重が判別できない場合があり、その場合は側面の割裂方向のひずみが500μを超えた時を最大荷重とした。なお、本実験では、500μ以降のひずみ進展に対し、荷重の増加がわずかである。また、せん断試験では、せん断面が破壊し、直応力の急激な増加が起こる直前を破壊時のせん断応力とした。純せん断強度は図4に示す破壊包絡線から直応力が0におけるせん断強度を推定した値である。試験結果より、接合面を設けることで一体の試験体と比較し、引張強度およびせん断強度は大きく減少する。一体の試験体との比は接合面の処理方法に依存し、N, C, Sでは引張強度は約15%, 50%, 20~25%,



図1 割裂引張試験の状況

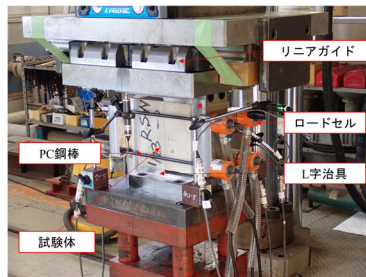


図2 一面せん断試験の状況

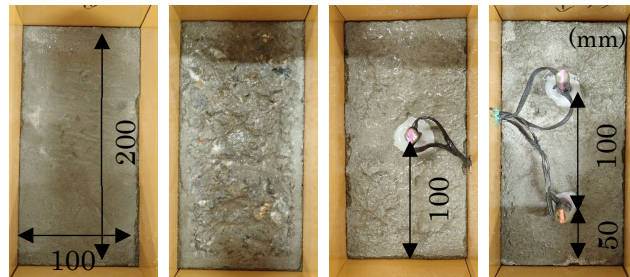


図3 接合面の処理状況（せん断試験：N, C, S1, S2）

キーワード：増厚、接合面、一面せん断、割裂引張、目荒らし、差し筋

連絡先：〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 TEL 070-5587-8032 FAX 04-7183-2962

せん断強度は約 10%, 75%, 40~50%であった。S1, S2 の結果から, 引張強度, せん断強度ともに, 鉄筋の本数にはほとんど依存せず, 接合面の処理が支配的であるといえる。せん断強度に関しては, N より大きく, ダウエル作用の影響と考えられる。

4. 考察

一体のコンクリートに対してモールの破壊円理論に基づくせん断強度の推定式として, 式 (1) がある²⁾。本研究ではこの式を参考に接合面をもつ試験体のせん断強度を引張強度から推定することについて考察する。式 (1) における接合面をもつ試験体の圧縮強度は引張強度からコンクリート標準示方書³⁾の式から算出し, 推定式は式 (3) となる。

$$\tau_0 = k\sqrt{f_c \cdot f_t} \quad (1)$$

$$f_t = 0.23f_c^{2/3} \quad (2)$$

$$\tau_0 = k\sqrt{f_t^{5/2}/0.23} \quad (3)$$

ここで, τ_0 : せん断強度, f_c : 圧縮強度, f_t : 引張強度である。係数 k は一般的に 0.5 が使用される。各試験のコンクリートの圧縮強度が異なるため, せん断強度を新コンクリートの圧縮強度で除し正規化した値 (以後, せん断強度比) で比較した。せん断強度比の実測値と推定値および正規化した $(f_t^{5/2}/0.23)^{1/2}$ の関係を図 5, 6 に示す。図には玉置ら⁴⁾の接合面に関する両面せん断試験と曲げ試験の結果も併記した。ここで, 曲げ強度は式 (4)³⁾を用いて, 引張強度に変換している。

$$f_b = 0.6/\sqrt[3]{h} \cdot f_t \quad (4)$$

表 1 コンクリートの養生条件と力学特性

試験	打設時	材齢 [日]	養生方法	圧縮強度 [MPa]	引張強度 [MPa]	弾性係数 [GPa]
割裂	旧	42	水中 (約 20℃)	35.1	2.97	29.7
割裂	新	28	水中 (約 20℃)	37.6	2.83	28.5
せん断	旧	314	水中 (常温)	41.0	3.47	33.2
せん断	新	300	水中 (常温)	43.5	3.31	35.9

表 2 割裂引張とせん断試験結果

シリーズ	引張強度 [MPa]	純せん断強度 [MPa]
0 (一体)	2.96	4.76
N	0.42	0.56
C	1.43	3.60
S1	0.64	2.10
S2	0.71	2.40

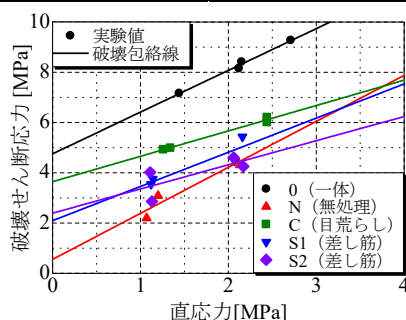


図 4 純せん断強度の推定

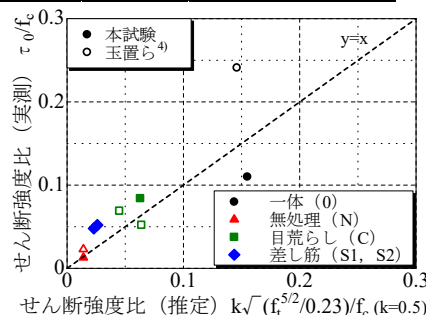


図 5 せん断強度比の実測値と推定値

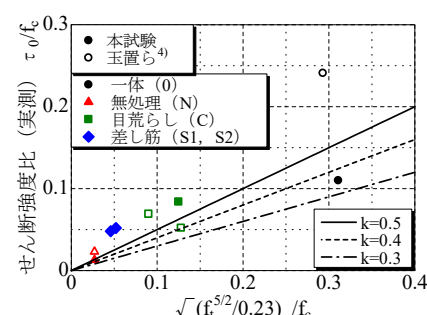


図 6 式 (3) の係数 k の検討

ここで, f_b : 曲げ強度, h : 部材の高さ (100mm) である。なお, 両面せん断試験ではわずかな直応力の発生により, 純せん断強度よりも高い可能性があることに注意されたい。図 5 より精度は低いものの実測値と推定値は相関があるといえ, 接合面をもつコンクリートに関しても式 (3) により, せん断強度が推定できる可能性がある。S では, せん断強度比が推定値よりも実測値が大きい傾向がある。これは, ダウエル作用による抵抗機構が影響したと考えられる。図 6 は推定式の係数 k に関する検討であり, $k=0.3, 0.4, 0.5$ となる直線を併記した。 $k=0.3$ のとき, 本実験結果全てが推定値を上回る。本研究の範囲内では引張強度からせん断強度を安全側で推定する際に $k=0.3$ を使用するのがよいと言える。しかし, 試験数が少ないため, データの拡充が望まれる。

5. 結論

さまざまな接合面状態を模擬した試験体に対し, 割裂引張試験および一面せん断試験を実施し, 引張強度と純せん断強度を把握した。引張強度と純せん断強度の関係を比較し, モールの破壊円理論に基づくせん断強度の推定式を用いて, 接合面をもつコンクリートの引張強度から純せん断強度の推定できる可能性を示した。

参考文献

- 1) 松田智行ら: 西郷ダム改造工事におけるコンクリート一体化処理・堤体摩耗対策, 電力土木, No.374, pp.86-90, 2014.11,
- 2) 田中浩ら: 純せん断力を受けるコンクリート要素の強度に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.746, V-61, pp.205-214, 2003, 11, 3) 土木学会: コンクリート標準示方書[設計編], 2017, 4) 玉置一清ら: 処理方法により相違する打継性能の比較について, 三井住友建設技術研究所報告, No.4, pp.69-76, 2006