

高強度コンクリートを用いたスタッド押抜きせん断試験と強度照査式に関する検討

(国研)土木研究所 CAESAR 正会員 〇金田 崇男 正会員 佐々木 寛幸
正会員 石原 大作 正会員 村越 潤

1. はじめに

道路橋の技術基準に関して、要求性能の検証方法として部分係数設計法の導入検討が進められている¹⁾。また、構造合理化・多様化の観点から、鋼コンクリート接合部に用いる頭付きスタッド(以下、スタッド)について、現行道示²⁾の照査式(以下、道示式)の根拠³⁾となった諸元とは異なる材料や外力作用での適用事例が増えている。これに対し、適用事例等の条件に対する実験等に基づく検討や強度照査式が提案されており例えば、^{4)~7)}、部分係数設計法への移行に際し、既往の検討結果を踏まえたスタッドの強度照査式の設定が求められる。

本稿では、検討事例の少ない高強度コンクリートを用いたスタッドの押抜きせん断試験による破壊形態等の確認と、本試験データ及び既往試験データを用いた道示式の適用性に関する検討結果について報告する。

2. スタッドの押抜きせん断試験

スタッドを用いた接合部の破壊形態及び破壊に至るまでの挙動の確認を目的に、文献 5)を参考にコンクリート設計基準強度 σ_{ck} (27,50N/mm²) 及びスタッドの全高 H と軸径 d との比 H/d (4.55,6.82)をパラメータとした試験体 12 体に対して押抜きせん断試験を行った。表-1、図-1 に試験体の形状寸法、図-2 に载荷概要、表-2 に試験結果を示す。漸増繰返し载荷法における载荷は変位制御で行い、相対ずれが 1.0mm までは 0.2mm 増すごとに、それ以後 4.0mm までは 0.5mm 増すごとに、载荷・除荷の漸増繰返し(全 12 サイクル) 载荷を行った。ただし、4.0mm 以降から破壊までは 0.5mm 程度の増分間隔で単調载荷とした。漸増繰返し载荷の場合(1-1、2-1、3-1、4-1)、全てのケースで最大荷重が低い傾向が見られた。

破壊形態は、道示式では $H/d \geq 5.5$ ではスタッドのせん断で、 $H/d < 5.5$ ではコンクリート床版の割裂により破壊するとしているが、本試験の破壊形態は、 $H/d < 5.5$ の場合でも σ_{ck} が大きい場合にスタッド破断となった。破

表-1 試験体の形状寸法

試験ケース		普通コンクリート		高強度コンクリート		
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	
スタッド	軸径 d (mm)	22				
	全高 H (mm)	100	150	100	150	
	H/d	4.55	6.82	4.55	6.82	
	本数	4				
	ミルシート	降伏強度 (N/mm ²)	360	385	360	385
	引張強度 (N/mm ²)	470	469	470	469	
コンクリート ブロック	高さ A (mm) × 幅 B (mm) × 厚さ C (mm)	400 × 500 × 200				
	設計基準強度 σ_{ck} (N/mm ²)	27		50		
	材料試験	圧縮強度 (N/mm ²)	31.5		63.4	
		引張強度 (N/mm ²)	2.32		3.79	
		ヤング係数 (N/mm ²)	26057		32712	
試験体数	載荷方法	漸増繰返し	1	1	1	1
		単調増加	2	2	2	2
	小計	3	3	3	3	
	合計	12				

表-2 試験結果

試験体		最大載荷重 (kN)		最大荷重時変位 (mm)		初期ひび割れ発生荷重 (kN)		破壊形態	破壊状態 (スタッド近傍でのひび割れの有無)
		4本当り	1本当り	4本当り	1本当り	4本当り	1本当り		
ケース1	1-1	589.9	147.5	8.02	540付近	135付近	コンクリート破壊	スタッド頭部、基部	—
	1-2	630.7	157.7	6.02	630付近	158付近	—	—	—
	1-3	620.8	155.2	7.42	590付近	148付近	—	スタッド頭部、基部	—
	平均	613.8	153.5	7.15	590付近	147付近	—	—	—
	2-1	631.7	157.9	8.97	630付近	158付近	コンクリート破壊	スタッド基部	—
ケース2	2-2	662.8	165.7	7.66	660付近	165付近	—	—	—
	2-3	699.5	174.9	11.38	680付近	170付近	—	スタッド頭部	—
	平均	664.7	166.2	9.34	660付近	164付近	—	—	—
	3-1	818.3	204.6	11.62	800付近	200付近	スタッド破断	ひび割れなし	—
	3-2	863.2	215.8	10.36	860付近	215付近	—	—	—
ケース3	3-3	881.4	220.4	12.28	830付近	208付近	—	スタッド頭部	—
	平均	854.3	213.6	11.42	830付近	208付近	—	—	—
	4-1	772.7	193.2	11.01	770付近	193付近	スタッド破断	ひび割れなし	—
	4-2	849.0	212.3	9.67	850付近	213付近	—	—	—
	4-3	879.4	219.9	12.14	880付近	220付近	—	ひび割れなし	—
ケース4	平均	833.7	208.4	10.94	830付近	209付近	—	—	—

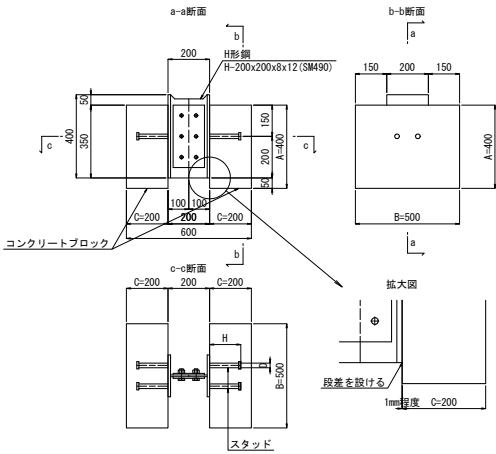


図-1 試験体の形状寸法

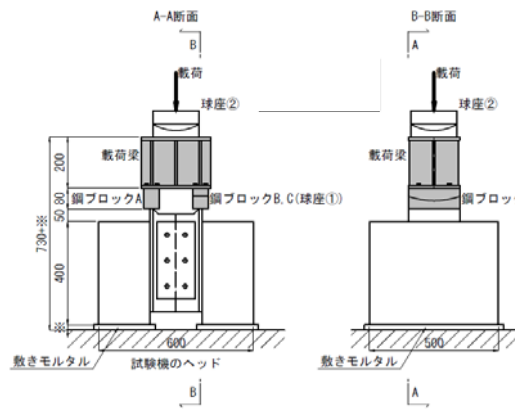


図-2 载荷概要図

キーワード スタッド、高強度コンクリート、押抜きせん断試験、強度照査式
連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (国研)土木研究所 構造物メンテナンス研究センター TEL 029-879-6773

壊に至るまでの挙動は、全てのケースにおいて最大荷重付近でコンクリートにひび割れが発生した後(ケース2の例を図-3に示す)、荷重が低下した。ケース3, 4では最大荷重付近でスタッド破断音が生じた。また、破壊状態については、コンクリート破壊(2-3)、スタッド破断(4-3)における試験体切断面を写真-1, 写真-2に示す。スタッド破断時には、スタッド頭部及び基部からのひび割れは、3-3以外では生じていない。

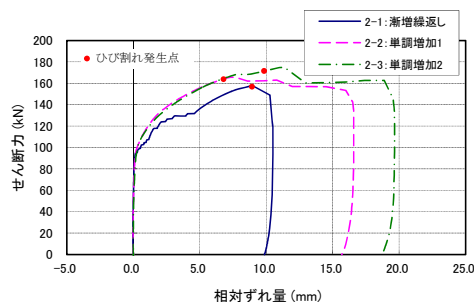


図-3 セン断力-相対ずれ曲線(ケース2)



写真-1 試験体切断面(2-3)
(コンクリート破壊)

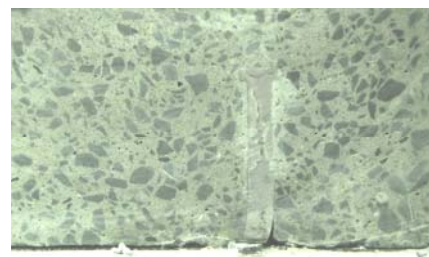


写真-2 試験体切断面(4-3)
(スタッド破断)

3. スタッドの強度照査式の検討

3. 1 道示式と試験データの比較

道示式と試験データとの関係について検討するため、道示式の根拠となった試験³⁾の21体に加え、それ以降の国内試験^{例えば、6)~7)}の72体と本試験の12体を追加し、分析を行った(表-3, 図-4)。対象とする試験データは、スタッドの鋼種がJIS規格(SS400相当)を満たし、試験値が数値データで示されているものとした。

図-4より、道示式による計算値に安全率分(3, 6)を乗じた線は、試験データの下限值付近となり、試験データの統計量から算出した下限値相当線より概ね大きい値を示している。ただし、コンクリート圧縮強度 σ_c が大きい場合($\sigma_c > 40 \text{ N/mm}^2$)には、破壊形態は主としてスタッド破断となり、試験値(破壊荷重)は、道示式による計算値の6倍より小さい傾向がみられる。軸径25mmのスタッドを用いた場合には、道示式による計算値を若干下回っている。

4. まとめと今後の課題

- 1) コンクリート圧縮強度及びスタッド全高と軸径との比の違いによるスタッドを用いた接合部の押抜きせん断試験より、荷重変位曲線及び破壊形態等を確認した。今後、破壊形態等を踏まえた安全余裕を検討する。
- 2) 道示式規定化以降の試験データを整理し、道示式の適用性について確認した。今後は、既往研究の提案式との比較等を行い、部分係数設計法におけるスタッドの強度照査式を設定していく。

参考文献

- 1) 土木研究所：鋼道路橋の部分係数設計法に関する検討，土木研究所資料，第4141号，2009.3。
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，2012。
- 3) 山本，中村：Studd Shear Connectorの試験報告，建設省土木研究所報告，第109号，pp.67-90，1961.1。
- 4) 平城，松井，福本：頭付きスタッドの強度評価式の誘導—静的強度評価式—，土木学会構造工学論文集，Vol.35A，pp.1221-1232，1989.3。
- 5) 日本鋼構造協会：頭付きスタッドの押抜きせん断試験方法(案)とスタッドに関する研究の現状，JSSCテクニカルレポートNo.35，1996.11。
- 6) 田川，平城，尾形，井上，松井：頭付きスタッドの押抜きせん断試験方法の標準化に関する検討，鋼構造論文集，第2巻第8号，pp.47-60，1995.12。
- 7) 岡田，依田，Jean-Paul LEBET：グループ配列したスタッドのせん断耐荷性能に関する検討，土木学会論文集，No.766/I-68，81-95，2004.7。
- 8) 山本，中村：Block ChannelおよびHoop Shear Connectorの試験報告，建設省土木研究所報告，第109号，pp.35-66，1961.1。

表-3 試験データの分類

		道示式の根拠データ		追加データ	
		山本ら ³⁾ +Viest	既往試験 ^{例えば6)~7)}	本試験	
道示式に対するパラメータ	スタッド軸径d(mm)	12.7~31.8	13.0~25.0	22.0	
	スタッド全高H(mm)	71.7~214.4	80.0~150.0	100.0, 150.0	
	コンクリート圧縮強度(N/mm ²)	20.7~36.9	18.2~55.7	31.5, 63.4	
データ数	降伏荷重	-	21	39	12
	破壊荷重	スタッド破断	9	29	6
		コンクリート破壊	12	39	6
		記載なし	0	4	0
	計	21	72	12	

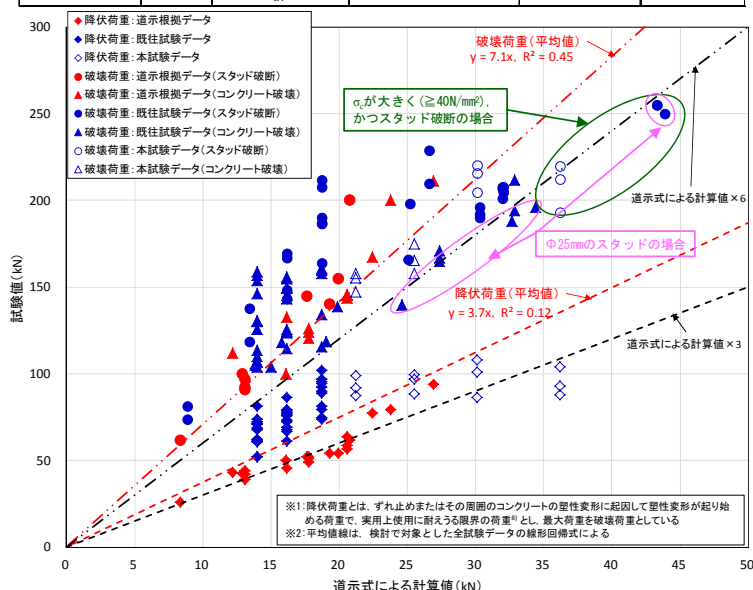


図-4 道示式と試験データの関係