

# せん断破壊する RC 梁および有孔梁のせん断強度評価に関する研究

正会員 ○落合 等 1\*  
 同 嶋田 洋介 2\*\*  
 同 白井 遼 3\*\*\*  
 同 北山 和宏 4\*\*\*\*

せん断破壊 鉄筋コンクリート梁 有孔梁  
 付着割裂破壊 せん断終局強度 せん断ひび割れ強度

1. はじめに 現在、保有水平耐力計算を対象とした規準類が求められている。そこで、本研究では梁部材の各種性能評価手法を提示するためのがかりとして、梁主筋降伏前にせん断破壊または付着割裂破壊する RC 梁および有孔梁を対象としてせん断強度についての調査を行い、文献調査により得られた実験結果を用いて、既往のせん断強度評価式がもつ精度を検証することを目的とする。

2. 実験データベースの概要 本研究では、日本建築学会大会学術講演梗概集の 1996-2010 年度（有孔梁については 2000-2010 年度）、およびコンクリート工学年次論文集 1990-2010 年度に対して文献調査を行った。対象とする試験体は、単純梁型、片持ち梁型あるいは逆対称曲げを受ける RC 梁および有孔梁のうち、せん断破壊あるいは付着割裂破壊したものとした。丸鋼主筋による付着滑脱破壊は対象としない。有孔梁で対象とするせん断破壊は、開孔部接線および開孔部対角ひび割れの進展による開孔部せん断破壊とした。軽量コンクリート（I 種、II 種）、高強度コンクリートを用いた試験体、T 形梁試験体、複数開孔の試験体を含む。また、せん断補強筋が無い試験体、軸力を受ける試験体、PCa 梁および PRC 梁の試験体は対象から除いた。その結果、表 1 に示すように計 1000 体の試験体が対象となり 5 つに分類した。( ) 内はそのうち、せん断ひび割れ強度が判明した試験体の数を示す。

普通梁 575 体の試験体のコンクリート圧縮強度  $\sigma_B$ 、せん断補強筋比  $p_w$ 、せん断スパン比  $M/Qd$  のヒストグラムを図 1 に示す。また、主筋降伏強度  $\sigma_y$  は 295~1383

$N/mm^2$ 、せん断補強筋降伏強度  $\sigma_{wy}$  は 176~1767 $N/mm^2$ 、引張鉄筋比  $p_t$  は 0.48~9.30% の範囲であった。せん断ひび割れ強度が判明した試験体は全体の 30% 弱だが、そのヒストグラムは全体のものに対して大きな偏りはない。

### 3. 実験データベースの分析

3.1 せん断終局強度 軽量コンクリートを用いた分類（エ）は試験体数が少ないため検討しない。使用した評価式は、荒川 mean 式<sup>2)</sup>および靱性指針<sup>3)</sup>の本文（靱性 A 法と呼び、塑性回転角  $R_p=0$  とした）と付録（靱性 B 法と呼ぶ）、有孔梁については修正広沢式<sup>4)</sup>である。

靱性 A 法においてせん断終局強度は、 $p_w \sigma_{wy} / \lambda \nu \sigma_B$ （記号は文献 3 を参照）の値によって判別した。靱性指針本文にあるように 3 式の最小値としないのは、ある条件下ではせん断終局強度として明らかに不適当な値（例えば負の数値）が導出されたためである。また、60 $N/mm^2$  以上の高強度コンクリートも対象とするため靱性 A 法では、コンクリート圧縮強度の有効係数  $\nu_0$  を文献 5 より  $\nu_0 = 1.69\sigma^{0.333}$  とした。

図 2 に分類（ア）の荒川 mean 式と靱性 A 法の計算値と実験値の関係を示す。左図は計算値に対する実験値の比のヒストグラムである。右図は横軸に計算値、縦軸に実験値をとり、実線は計算値に対する実験値の比が平均値となる点、点線はその比が 1 の点を結んだものである。

表 2 に各分類における計算値と実験値の関係を示す。

分類（ア）の荒川 mean 式と靱性 A 法では、平均値が 1.16 程度、変動係数が 28% 程度とほぼ同一である。それに対し靱性 B 法の変動係数は他式と大差ないが、平均値が 0.88 と 1 未満で実験値を危険側に推定した。

軽量コンクリートを用いた分類（イ）では、荒川 mean 式が平均値 1.06、変動係数 20.6% とせん断終局強度の推定式として最も精度が高い。靱性指針では軽量コンクリートは対象外だが、変動係数は靱性 A 法で 26.6% と普通コ

表 1 検討対象試験体の分類と個数

分類	梁種別	破壊形式	コンクリート種別	試験体数
(ア)	普通梁	せん断	普通コンクリート	439 (136)
(イ)			軽量コンクリート	31 (16)
(ウ)		付着割裂	普通コンクリート	104 (13)
(エ)			軽量コンクリート	1 (0)
(オ)	有孔梁	せん断	普通コンクリート	425 (166)
合計				1000 (331)

( ) 内はせん断ひび割れ強度が判明した試験体数

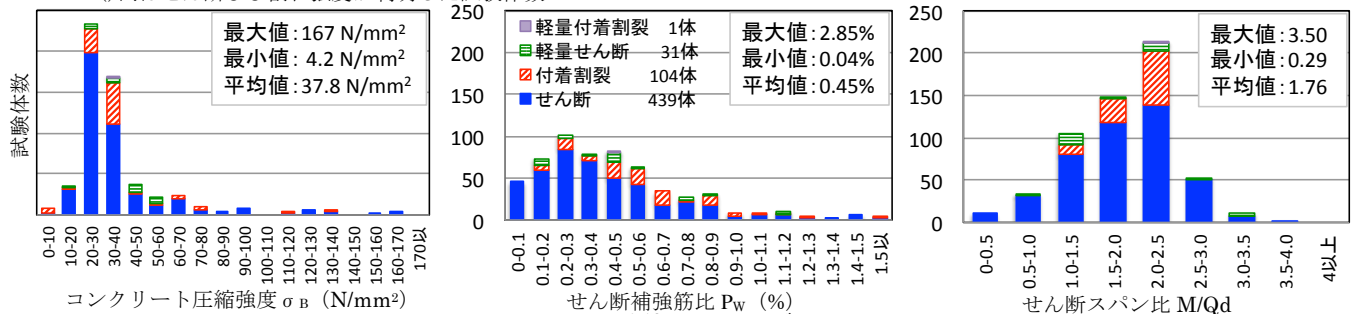


図 1 試験体のヒストグラム

ンクリートを用いた分類 (ア) と大差ない。しかし、平均値は 0.92 と分類 (ア) と比べて大幅に低下する。これは靱性 B 法も同様の傾向を示した。ただし、分類 (イ) の試験体数は 31 体と少なく、標本数を増やして検討する必要がある。

付着割裂破壊する分類 (ウ) では、平均値は 1.02 と靱性 A 法が最も 1 に近いが、変動係数が他の式や靱性 A 法の他の分類に比べて大きい。荒川 mean 式では、変動係数が 22.9% と 3 式の中で最小であり、平均値 1.18 は分類 (ア) とほぼ同一である。靱性 B 法は変動係数は 25.7% と荒川式と大差ないが、平均値が 0.87 と 1 未満で実験値を危険側に推定した。

有孔梁の分類 (オ) において修正広沢式は、平均値 1.22、変動係数 17.4% であった。文献 4) では同じ修正広沢式による計算値と実験値を比較し、平均値 1.11、変動係数 19.4% と報告された。今回は、広沢らの用いた試験体とは異なる実験結果によって再検討したところ、平均的にはより安全側の評価となり、ばらつきも少なかった。また、計算値に対する実験値の比が 1 以上の試験体数の割合は 87.3% であり、多数の実験値を安全側に推定した。

**3.2 せん断ひび割れ強度** 試験体数の多い分類 (ア)、(オ) を検討する。使用した評価式は、荒川式<sup>2)</sup>および靱性指針式<sup>3)</sup> (主応力度式、耐力係数  $\phi$  は 1 とした)、有孔梁については広沢式<sup>4)</sup> である。広沢式を以下に示す。

$$V_H = 0.3354 \cdot k_1 \cdot \sqrt{\sigma_B} \cdot (M/Qd)^{k_3} \cdot (1 - 1.61H/D)bd \quad (\text{N})$$

(記号の詳細は文献 5 を参照)

表 3 に各分類における計算値と実験値の関係を示す。

分類 (ア) では、荒川式と靱性指針式の変動係数は 47% とほぼ等しい。平均値は荒川式が 1.47、靱性指針式では 1.00 となった。荒川式は不合格率 5% の下限式だが、計算値に対する実験値の比が 1 未満の試験体数の割合は 17.6% だった。そこで実際の度数分布より合格率が 95% となる耐力係数を求めると 0.46 となった。靱性指針式では正規分布を仮定して耐力係数を求めると 0.23 となった。

有孔梁の分類 (オ) では、広沢式は平均値 1.52、変動係数 57.1% とばらつきが大きい。正規分布を仮定した耐力係数は 0.09 と非常に小さい。しかし、度数分布は正規分布とみなせなかったため、実際の度数分布より合格率が 95% となる耐力係数を求めると 0.50 となった。

**4. まとめ** 普通コンクリート ( $4.2\text{N/mm}^2 \leq \sigma_B \leq 167\text{N/mm}^2$ ) を用いた梁ではせん断破壊時の荒川 mean 式と  $R_p=0$  としたときの靱性 A 法はせん断終局強度の評価式として同程度の精度をもつ。付着割裂破壊を積極的に考

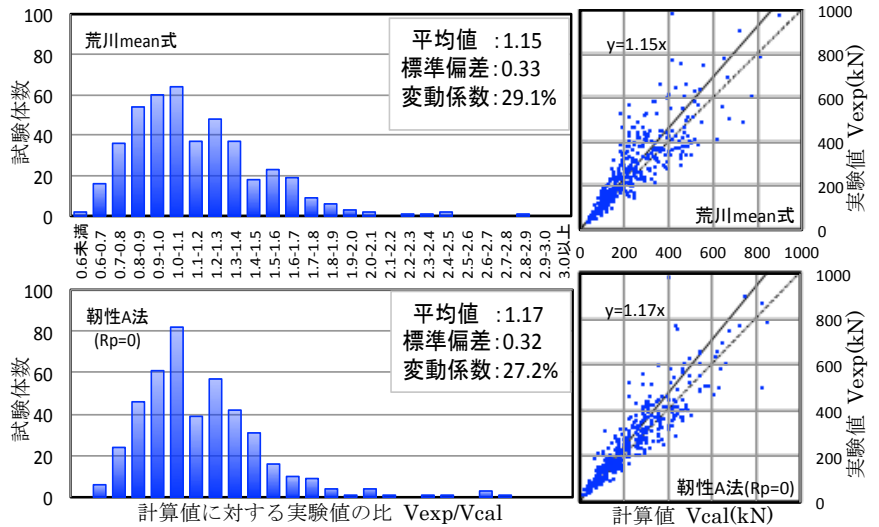


図 2 分類 (ア) のせん断終局強度の計算値と実験値の関係

表 2 せん断終局強度の精度

分類	せん断終局強度計算式	Vexp/Vcal		
		平均値	標準偏差	変動係数(%)
(ア)	荒川mean式	1.15	0.33	29.1
	靱性A法(Rp=0)	1.17	0.32	27.2
	靱性B法	0.88	0.25	28.6
(イ)	荒川lmean式	1.06	0.22	20.6
	靱性A法(Rp=0)	0.92	0.25	26.6
	靱性B法	0.70	0.20	28.8
(ウ)	荒川lmean式	1.18	0.27	22.9
	靱性A法(Rp=0)	1.02	0.34	33.3
	靱性B法	0.87	0.22	25.7
(オ)	修正広沢式	1.22	0.21	17.4

表 3 せん断ひび割れ強度の精度

分類	せん断ひび割れ強度計算式	Vexp/Vcal			合格率 95%の 耐力係数
		平均値	標準偏差	変動係数(%)	
(ア)	荒川式	1.39	0.62	44.8	0.48*
	靱性指針式	1.00	0.47	46.7	0.23
(オ)	広沢式	1.15	0.33	28.8	0.61*

\*印は実際の度数分布より求めた

慮しない荒川 mean 式によって付着割裂破壊した梁のせん断終局強度を評価したところ、せん断破壊時とほぼ同等の精度を得た。有孔梁に対する修正広沢式はせん断終局強度の下限を妥当に評価した。普通コンクリートを用いた梁では荒川式によるせん断ひび割れ強度計算値は安全側の評価になるが、ばらつきが大きい。靱性指針式では合格率 95% となる耐力係数は 0.23 であった。

**参考文献**

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、2010.2
- 2) 荒川卓：鉄筋コンクリートはりの許容せん断応力度とせん断補強について、コンクリート・ジャーナル、Vol. 8、No.7、pp.11-20、1970.7
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説、1999.8
- 4) 広沢雅也・清水泰：鉄筋コンクリート造有孔ばりのせん断強度と靱性、建築技術、pp.93-101、1979.3
- 5) 建設省総合技術開発プロジェクト：鉄筋コンクリート造建築物の超軽量化・超高層化技術の開発、平成 4 年度構造成能分科会報告書、(財) 国土開発技術センター、pp.V-4-5 および V-13-14、1993.3

\* 1 首都大学東京大学院，博士前期課程

\*\* 2 (株)RIA，修士 (工学)

\*\*\* 3 (株)戸田建設，修士 (工学)

\*\*\*\* 4 首都大学東京，工学博士

\* 1 Graduate Student, Tokyo Metropolitan University

\*\* 2 RIA Corporation, Mr. Engineering.

\*\*\* 3 Toda Corporation, Mr. Engineering.

\*\*\*\* 4 Professor, Tokyo Metropolitan University, Dr. Engineering.