

神戸大学工学部 学生員 ○岩田 和隆 神戸大学工学部 正会員 森川 英典  
 神戸大学大学院 学生員 橋本 航 神戸大学工学部 正会員 小林 秀恵

1. はじめに

近年、塩害やコンクリートの中性化により鉄筋が腐食し、RC 構造物の耐久性を確保する上で鉄筋腐食が重要であることが広く認識されるに至った。そこで、図-1 に示す模擬腐食鉄筋を用いて RC はりを作成してせん断破壊試験を行うことにより、鉄筋腐食時のせん断耐荷性能評価式を構築した。そして、構築した評価式を用いることにより、既存 RC 橋脚に対して鉄筋が腐食した場合の地震時損傷確率マトリックスを構築し耐震診断を行った。

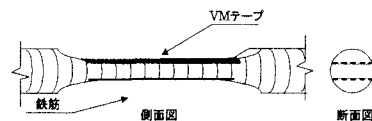


図-1 模擬腐食鉄筋概要

2. 試験概要

試験で用いた供試体は、幅 150mm、高さ 240mm、有効高さ 200mm の長方形断面を持つスパン 1200mm の RC はりで、引張鉄筋（以下、主鉄筋）に D16 を 3 本、圧縮鉄筋に D13 を 2 本、配筋 I においてはせん断補強鉄筋（以下、スターラップ）を 150mm 間隔で配置し、配筋 II においてはスターラップを配置しないものとした。載荷方法は中央 2 点載荷で、せん断スパン比は 2.5 とし、コンクリート強度は 16.9(N/mm<sup>2</sup>)とした。図-2 に配筋 I の試験供試体側面図を示す。また、腐食を表す指標には式(1)から求められる腐食減量率を用いた。

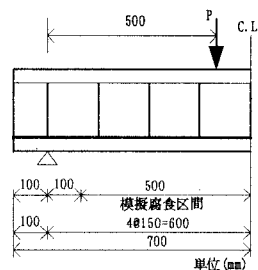


図-2 供試体概要

$$\sigma_{cy} = \{1 - 1.98(\Delta w / 100)\} \cdot \sigma_y \quad (1)$$

ただし、 $\sigma_{cy}$  : 腐食後の降伏強度、 $\sigma_y$  : 健全時の降伏強度、 $\Delta w$  : 腐食減量率(%)

3. 試験結果および考察

(1) **せん断耐力の検討** : 表-1 に各供試体の腐食パターンと試験結果を示す。なお、コンクリート強度は 16.9(N/mm<sup>2</sup>)である。ここで便宜上、スターラップのみ腐食したものをパターン X、スターラップおよび主鉄筋が腐食したものをパターン Y、主鉄筋のみ腐食したものをパターン Z とする。せん断耐力評価式にはせん断スパン比の影響が考慮された二羽式<sup>2)</sup>による評価式を用いた。表-1 から本試験結果においては、パターン X ではスターラップが腐食するにつれ  $V_c$  の値が上昇している。パターン Y における  $V_c$  の挙動は、スターラップ腐食による耐力上昇に加え、主鉄筋が腐食したことによりアーチ作用の影響を受けその値はさらに上昇する結果となった。また、スターラップを配置し

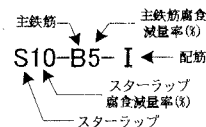
表-1 載荷試験結果

供試体番号	腐食パターン	二羽式評価値		実験値		実験値/評価値	
		$V_c$ (kN)	$V$ (kN)	$V_c$ (kN)	$V$ (kN)	$V_c$	$V$
S0-B0-I	X, Y	37.9	61.7	29.1	52.8	0.77	0.86
S10-B0-I	X	37.9	57.0	31.8	50.9	0.84	0.89
S20-B0-I	X	37.9	52.3	33.7	48.0	0.89	0.92
S10-B5-I	Y	35.9	54.9	37.5	56.6	1.05	1.03
S20-B10-I	Y	34.5	48.9	39.4	53.8	1.14	1.10
S0-B0-II	Z	37.9	—	31.9	—	0.84	—
S0-B5-II	Z	35.9	—	28.2	—	0.79	—
S0-B10-II	Z	34.5	—	27.0	—	0.78	—

ていないパターン Z では、腐食が進行するにつれ耐力は下がる結果となった。

(2) **評価式の提案** : 本試験結果をもとに鉄筋腐食による RC 部材のせん断耐力評価式を提案する。コンクリート分担せん断耐力 ( $V_{c0}$ ) に対して、腐食減量率をパラメータと

した補正係数  $\beta_1$ 、 $\beta_2$  を乗じることで鉄筋腐食による RC 部材のコンクリート分担せん断耐力 ( $V_{c1}$ ) を評価する。なお、補正係数  $\beta_1$  はスターラップのみ腐食時の評価値と実験値との差を補正するもので、パターン X の試験結果から評価し、補正係数  $\beta_2$  は主鉄筋のみ腐食時の評価値と実験値との差を補正するもので、パターン Z の試験結果から評価している。以下に、二羽式をベースに構築した評価式を示す。



$$V_{c1} = (\beta_1 \cdot \beta_2) \cdot V_{c0} \quad (2)$$

$$\beta_1 = 0.0079\Delta w_s + 1.006, \quad \beta_2 = -0.015\Delta w_b + 0.987$$

ただし、 $V_{c1}$ ：鉄筋腐食時のコンクリート分担せん断耐力

$V_{c0}$ ：健全時のコンクリート分担せん断耐力

$\Delta w_s$ ：スターラップ腐食減量率(%)

$\Delta w_b$ ：主鉄筋腐食減量率(%)

表-2に本提案式による評価値と実験値との比較を示す。

パターン X, Z については比較的良い精度が得られたが、パターン Y についてはアーチ作用の影響が表現できていない。そこで、パターン Y に関しては以下の方法によりコンクリート分担せん断耐力( $V_{c2}$ )の再評価を行った。

$$V_{c2} = \gamma V_{c1}, \quad \gamma = 0.018\Delta w_s + 1.038 \quad (\Delta w_s = 2\Delta w_b) \quad (3)$$

表-3に再提案した評価式による評価値と実験値との比較を示す。

表-3より比較的良い精度が得られており、アーチ作用による耐力増加も表現されており、式(3)で評価を行うのは妥当といえる。

#### 4. 鉄筋腐食を考慮した地震時損傷確率

(1) 損傷確率評価手法：せん断破壊型 RC 橋脚に対する損傷確率評価は図-4のフロー③に従って行った。今回対象とした橋脚は、昭和39年鋼道路橋設計示方書に準拠し、T型RC単柱橋脚、せん断スパン比1.88(橋軸直角方向)のせん断破壊型橋脚である。また、せん断耐力算定に使用するコンクリート強度は16.9(N/mm<sup>2</sup>)、鉄筋強度は490(N/mm<sup>2</sup>)とした。そして、橋脚の被災度はAS：崩壊、A：大被害、B：中被害、C：小被害、D：無被害とした。

#### (2) 損傷確率マトリックスの構築と評価

図-4に示したフローに従って構築した地震時損傷確率マトリックスを表-4～表-6に示す。なお、スターラップの腐食減量率は10%、主鉄筋の腐食減量率は5%と設定した。また、鉄筋腐食に関しては式(2)で評価した場合と式(3)で評価した場合に分けて損傷確率マトリックスを構築した。表-5から鉄筋腐食を式(2)で評価した場合、腐食の進行とともにA判定以上となる確率が高くなっている。しかし、表-6から式(3)で鉄筋腐食を評価すると、アーチ作用により腐食時の方が健全状態時よりもせん断耐力が大きくなるため、A判定以上となる確率は健全時よりも低くなっている。

#### 5. まとめ

模擬腐食鉄筋を用いたRCはりのせん断破壊試験を行い、その結果から鉄筋腐食によるRC部材のせん断耐力評価式を提案した。そして、提案した評価式を用いて、鉄筋腐食を考慮したせん断破壊型RC橋脚に対して地震時損傷確率マトリックスを構築したところ、主鉄筋の腐食によるアーチ作用の影響を考慮するか否かで結果が大きく変わることが明らかとなった。

【参考文献】1)李ら：第19回コンクリート工学年次論文報告集，No.1，1997。2)二羽ら：土木学会論文集，No.508/V-26，1995。3)森川，橋本ら：建設工学研究所論文報告集，第43-A号，2001.11。

表-2 評価値と実験値の比較

供試体番号	腐食パターン	評価値		実験値/評価値	
		$V_{c1}$ (kN)	$V_1$ (kN)	$V_{c1}$	$V_1$
S0-B0-I	X, Y	28.8	52.6	1.01	1.00
S10-B0-I	X	31.1	50.2	1.02	1.01
S20-B0-I	X	33.4	47.7	1.01	1.01
S10-B5-I	Y	28.7	47.8	1.31	1.18
S20-B10-I	Y	28.3	42.7	1.39	1.26
S0-B0-II	Z	28.8	—	1.10	—
S0-B5-II	Z	26.7	—	1.06	—
S0-B10-II	Z	24.5	—	1.10	—

表-3 再評価値と実験値との比較

供試体番号	腐食パターン	評価値		実験値/評価値	
		$V_{c2}$ (kN)	$V_2$ (kN)	$V_{c2}$	$V_2$
S0-B0-I	Y	29.9	53.7	0.97	0.98
S10-B5-I	Y	35.1	54.2	1.07	1.04
S20-B10-I	Y	40.3	54.7	0.98	0.98

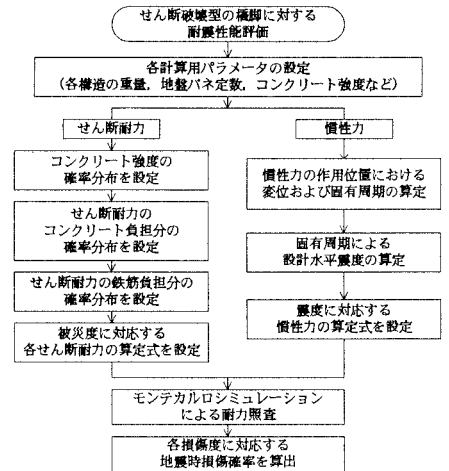


図-4 せん断破壊型RC橋脚に対する損傷確率評価フロー

表-4 健全状態時の損傷確率マトリックス

橋脚被災度	気象庁震度階		
	震度5	震度6	震度7
AS	0%	0%	0.1%
A	0%	5.5%	90.3%
B	0%	93.6%	9.7%
C	0%	0.9%	0%
D	100%	0%	0%

表-5 鉄筋腐食時の損傷確率マトリックス (式(2)で評価した場合)

橋脚被災度	気象庁震度階		
	震度5	震度6	震度7
AS	0%	0%	7.7%
A	0%	63.1%	92.2%
B	0%	36.3%	0.1%
C	0%	0.7%	0%
D	100%	0%	0%

表-6 鉄筋腐食時の損傷確率マトリックス (式(3)で評価した場合)

橋脚被災度	気象庁震度階		
	震度5	震度6	震度7
AS	0%	0%	0%
A	0%	5.3%	83.5%
B	0%	58.3%	14.5%
C	0%	36.4%	2.1%
D	100%	0%	0%