

せん断破壊した鉄筋コンクリート造柱の 残存軸耐力評価に関する研究

(Evaluation of Residual Axial-Load Carrying
Capacity of Shear-Damaged RC Columns)

杨 勇

南京工业大学 土木工程学院

1.背景+目的 (Background+Objective)

2.理論誘導(Theoretical induction)

3.実験検証(Experimental investigation)

- ・新耐震基準適用前のRC造建物は，柱にせん断破壊が生じた例が多い。変形が大きくなると柱の軸力支持能力が低下し，軸崩壊の恐れがある(Shear failures were commonly found in the past EQs and led to a partial or global building collapse)。



(1995, 兵庫県南部地震, 日本)



Building collapse (2016, 熊本地震, 日本)

せん断破壊が発生しうるRC造柱に対して、せん断破壊後の**残存軸耐力の評価**は極めて重要である (It is very important to evaluate the residual axial load-carrying capacity for shear-damaged RC columns)。

- 柱のせん断補強筋量 (transverse reinforcement ratio) 及び変形量 (F 値, column horizontal displacement) に応じて残存軸耐力率 (axial capacity ratio) を規定している。



柱の種別	帯筋量 p_w (%)	$F=1.0$	$F=1.27$
極脆性柱	$0.4 < p_w$	0.4	0.3
	$0.2 \leq p_w \leq 0.4$	0.3	0.1
	$p_w < 0.2$	0	0
せん断柱	$0.4 < p_w$	0.6	0.4
	$0.2 \leq p_w \leq 0.4$	0.5	0.3
	$p_w < 0.2$	0.4	0
曲げ柱	$0.4 < p_w$	0.6	0.6
	$0.2 \leq p_w \leq 0.4$	0.5	0.5
	$p_w < 0.2$	0.4	0.4

- Elwood, Moehleらが提案した残存軸耐力評価手法 (**shear-friction model** by Elwood and Moehle, 2005)。

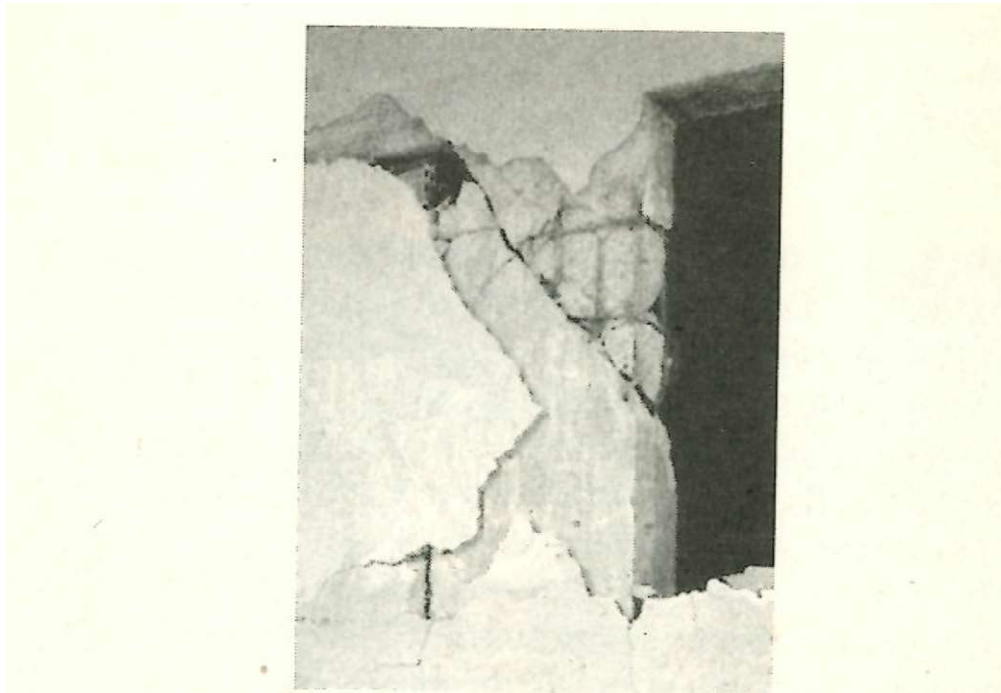
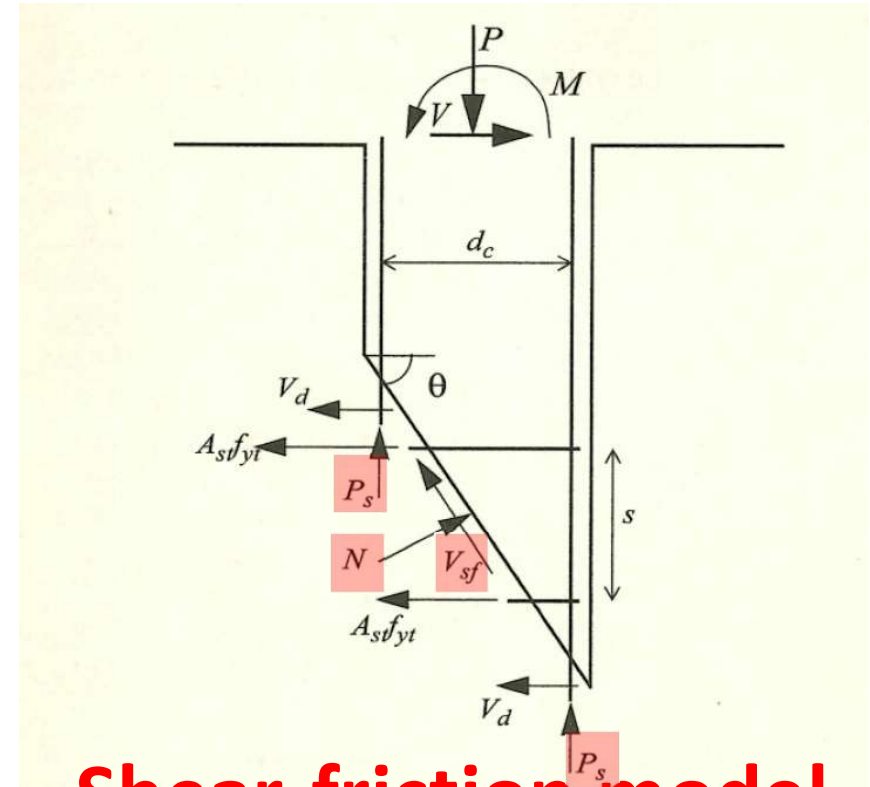


Fig. 3—Damaged column from 1999 Kocaeli Earthquake.



Shear-friction model

Fig. 4—Free body diagram of column after shear failure.

$$\boxed{P} = \boxed{\frac{A_{st} f_{yt} d_c}{s} \tan \theta \frac{1 + \mu \tan \theta}{\tan \theta - \mu}} + \boxed{\frac{d_b / L}{\frac{3}{4} \pi \frac{\Delta}{L} + \frac{d_b}{L}} A_{bar} f_{yt}}$$

column
concrete
longitudinal bars

・本研究では、せん断破壊後のRC造柱を対象に：

(1) **軸崩壊メカニズム**を理論的に解明すること；
(investigate collapse mechanism for shear-damaged columns)

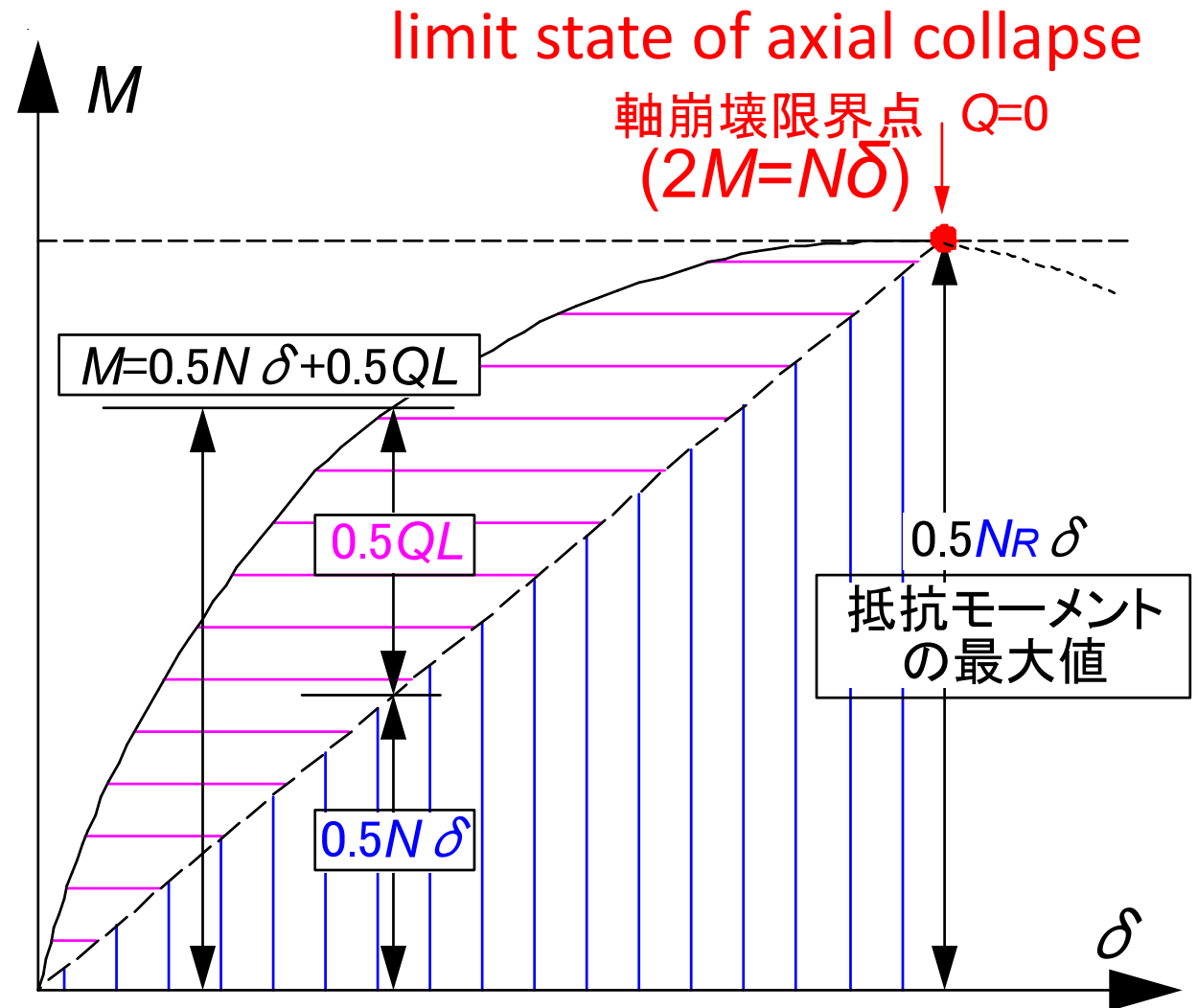
(2) **高精度残存軸耐力理論評価式**を提案すること；
(propose evaluation formula with high accuracy for residual axial capacity)

を主目的とし、理論の展開や実験的な検証(theoretical induction and experimental investigation)を実施する。

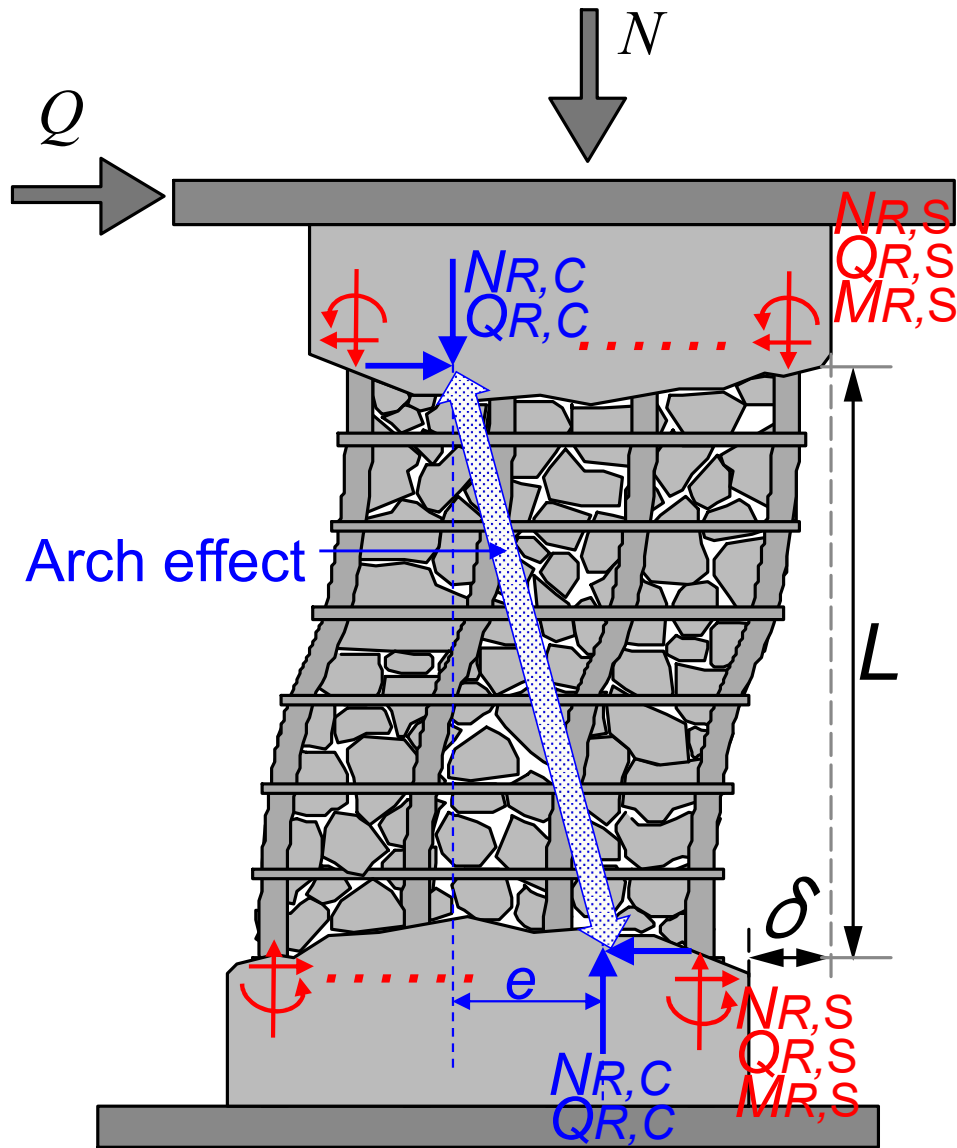
1.背景+目的 (Background+Objective)

2.理論誘導(Theoretical induction)

3.実験検証(Experimental investigation)



- せん断力が0の時に軸崩壊限界点と定義し、その時の残存軸耐力 N_R は作用軸力 N と等しい (the equilibrium state with shear force equal to zero is the limit state of axial collapse)。



せん断破壊区間
(column model)

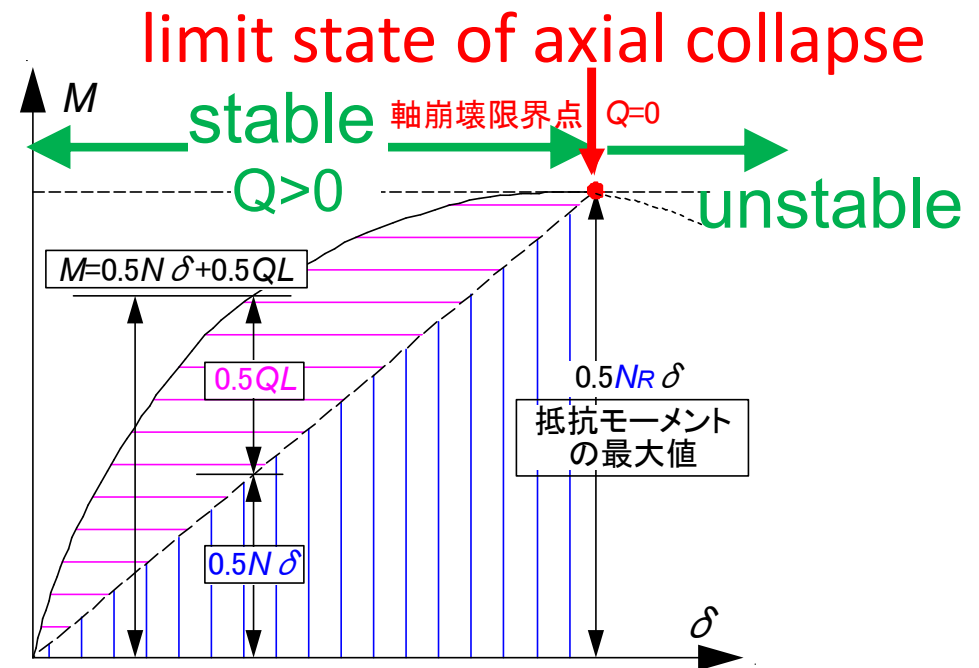
$$QL + nNR,S\delta = 2nMR,S + NR,C e$$

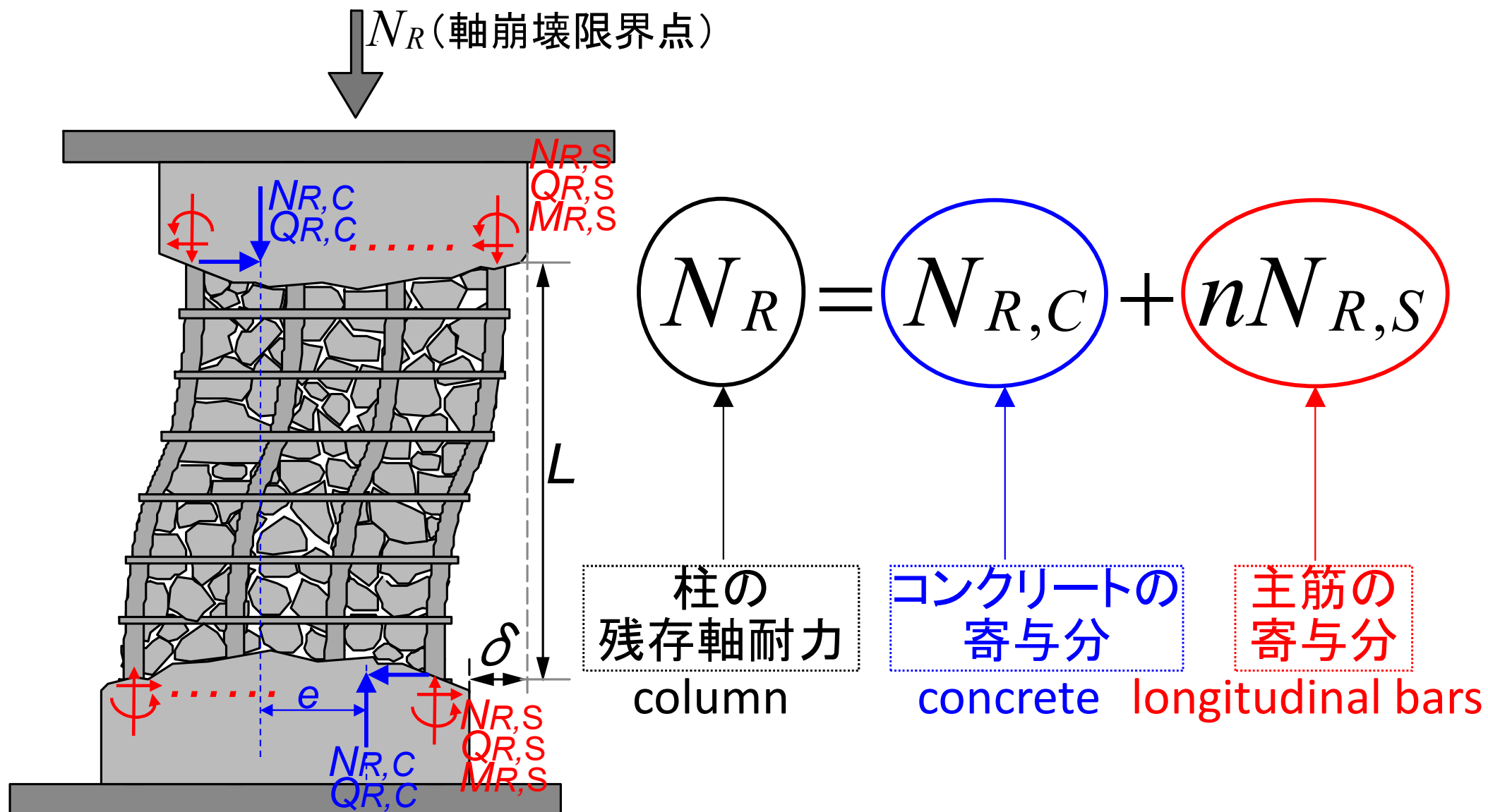
$Q > 0$, stable

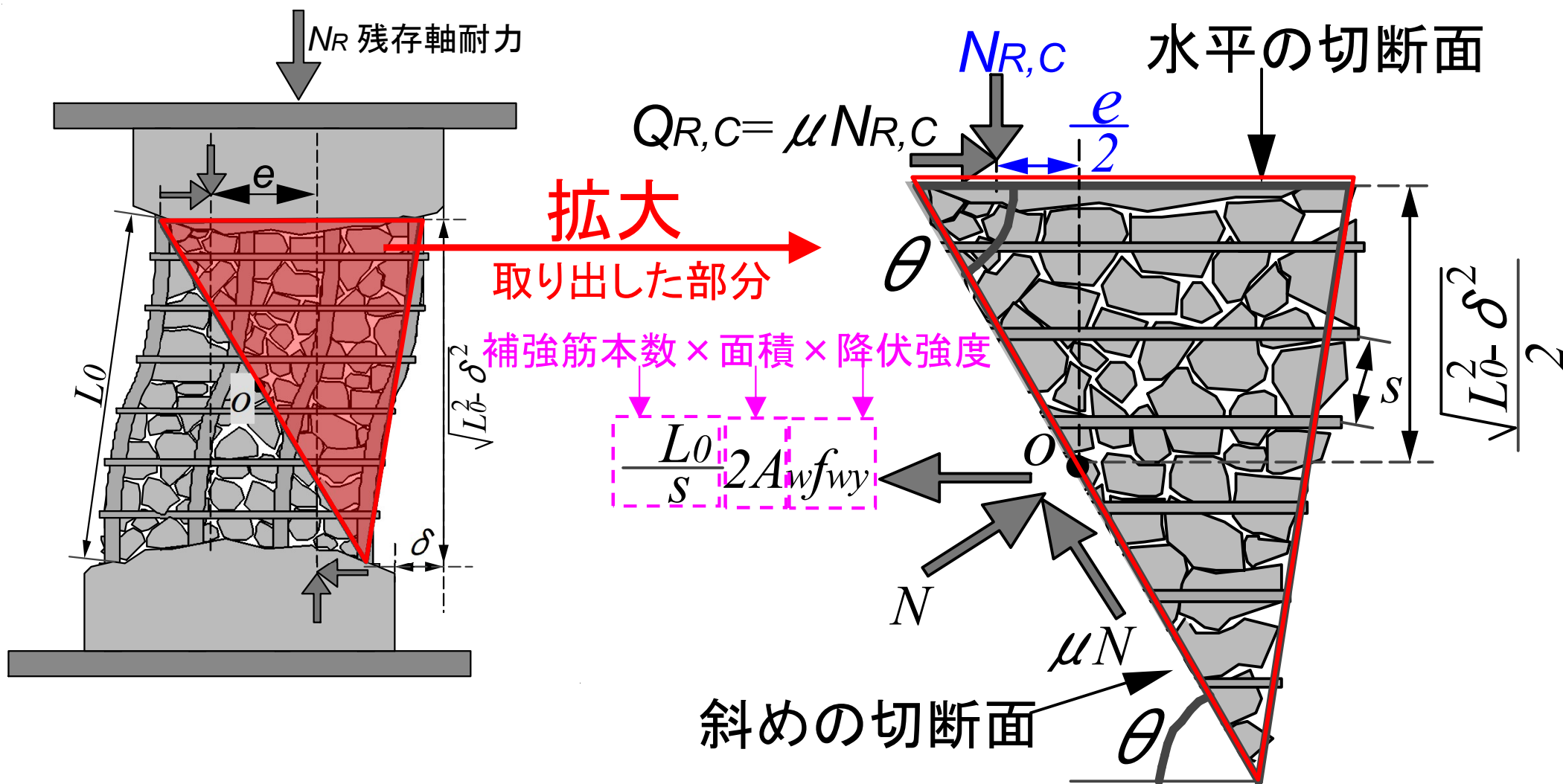
$$nNR,S\delta < 2nMR,S + NR,C e$$

$Q = 0$, limit state of axial collapse

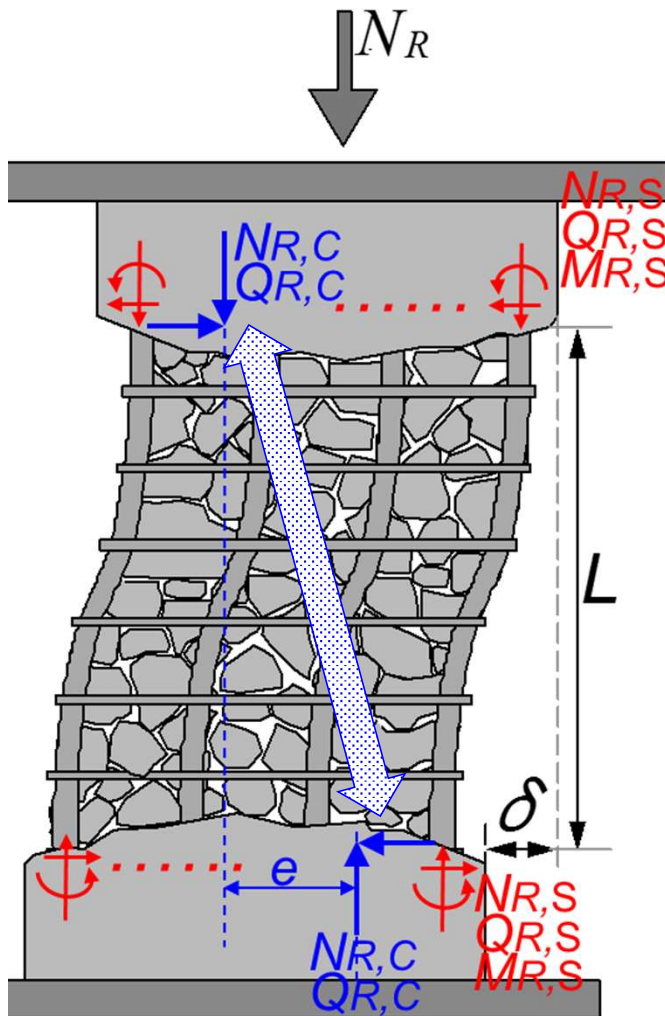
$$nNR,S\delta = 2nMR,S + NR,C e$$







$$N_{R,C} = \frac{L_0}{s} 2A_w f_{wy} \frac{\mu \sin \theta + \cos \theta}{\mu^2 \sin \theta + \sin \theta} \quad (\text{by static equilibrium analysis})$$



$$N_{R,S} = \frac{\frac{N_{R,C}e\delta}{2n\left(\frac{4}{3}\left(\frac{d}{2}\right)^3 f_y\right)^2} + \sqrt{\left[\frac{N_{R,C}e\delta}{2n\left(\frac{4}{3}\left(\frac{d}{2}\right)^3 f_y\right)^2}\right]^2 - 4\left[\frac{1}{\left(\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 f_y\right)^2} + \frac{\delta^2}{\left(\frac{8}{3}\left(\frac{d}{2}\right)^3 f_y\right)^2}\right] \cdot \left[\frac{N_{R,C}^2 e^2}{\left(\frac{8}{3}\left(\frac{d}{2}\right)^3 f_y n\right)^2} - 1\right]}}{2\left[\frac{1}{\left(\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 f_y\right)^2} + \frac{\delta^2}{\left(\frac{8}{3}\left(\frac{d}{2}\right)^3 f_y\right)^2}\right]}$$

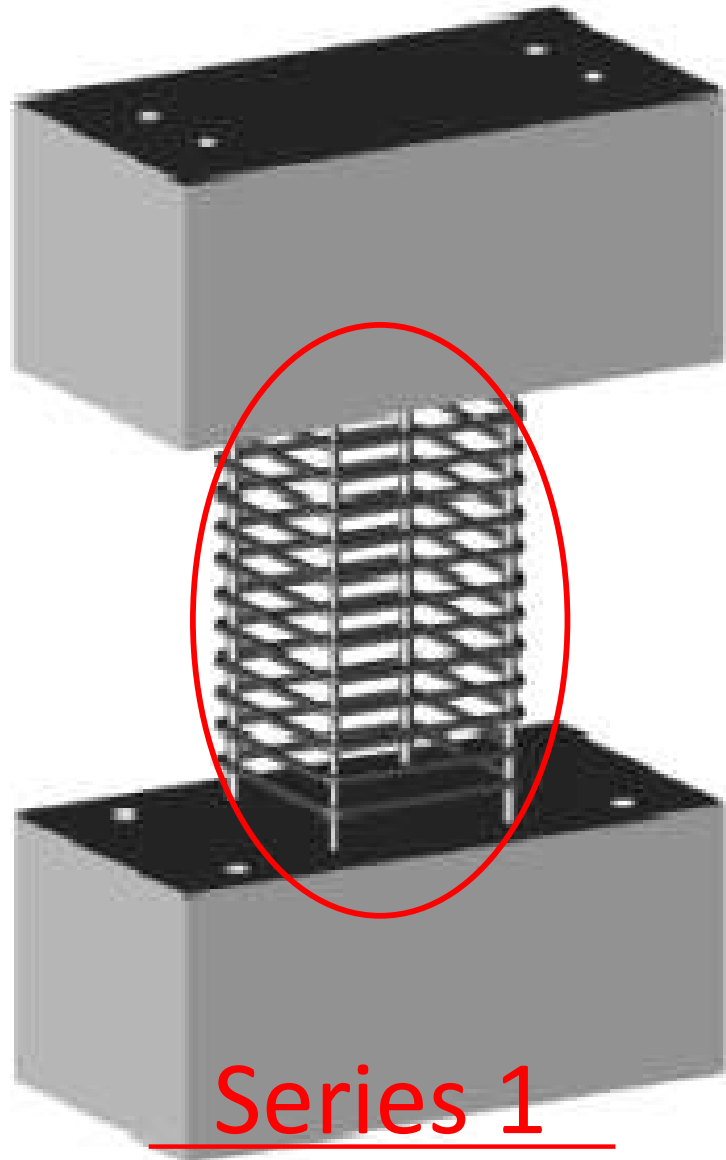
(one bar)

Longitudinal bar contribution also depends on concrete contribution

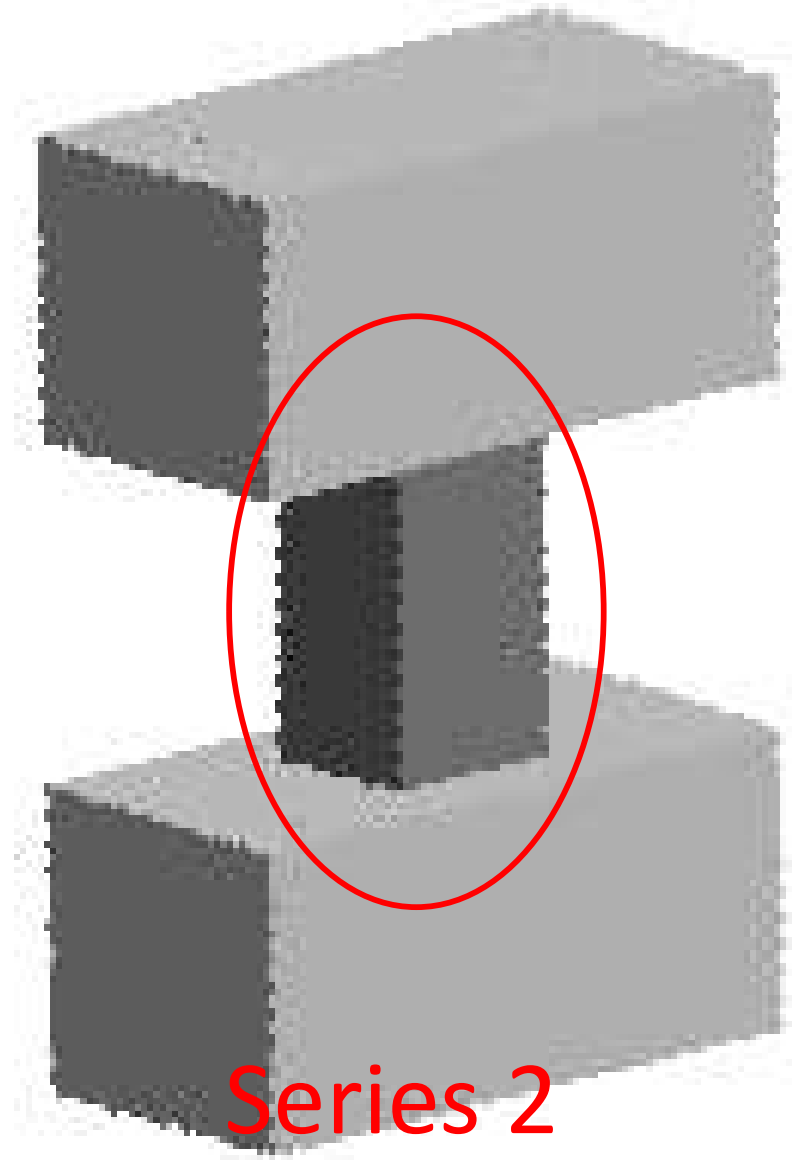
1.背景+目的 (Background+Objective)

2.理論誘導(Theoretical induction)

3.実験検証(Experimental investigation)

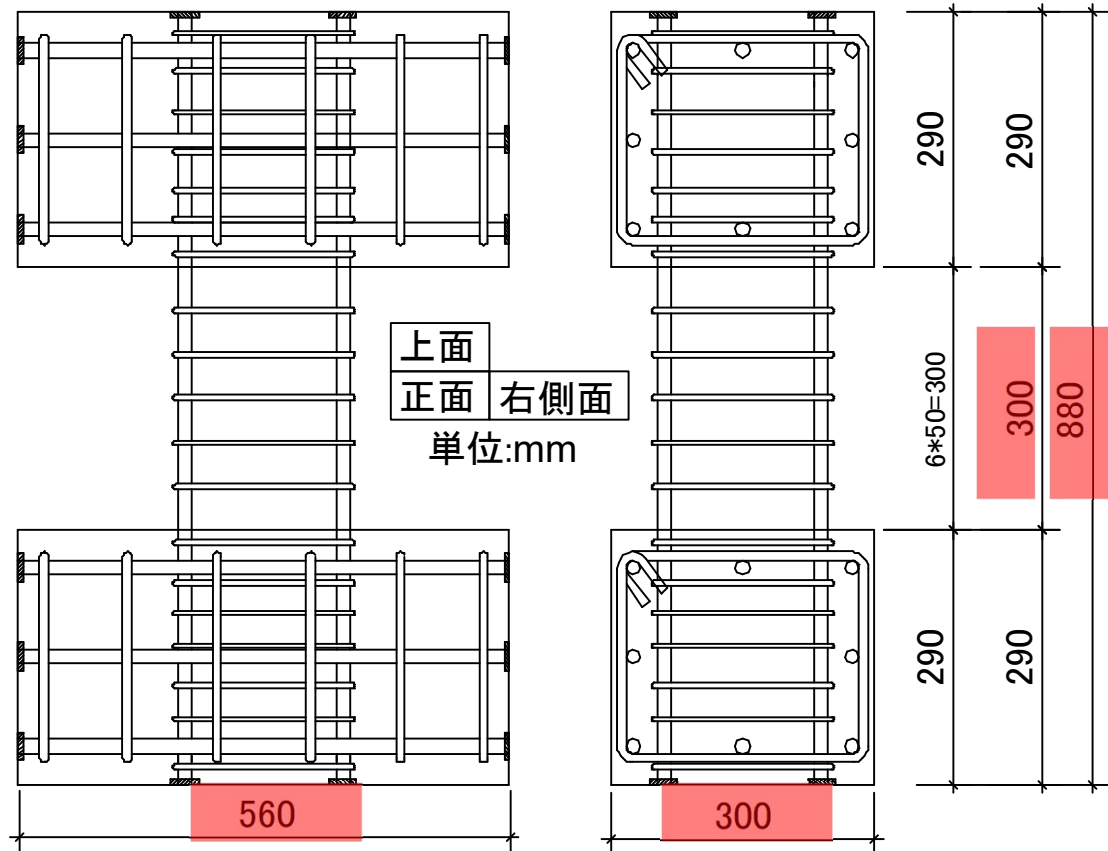
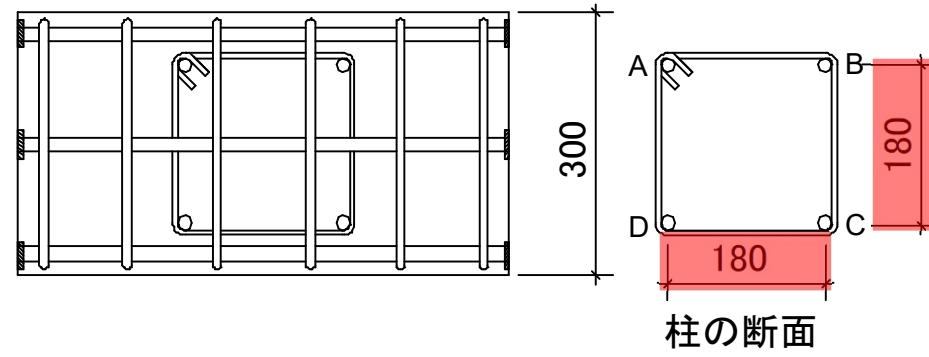
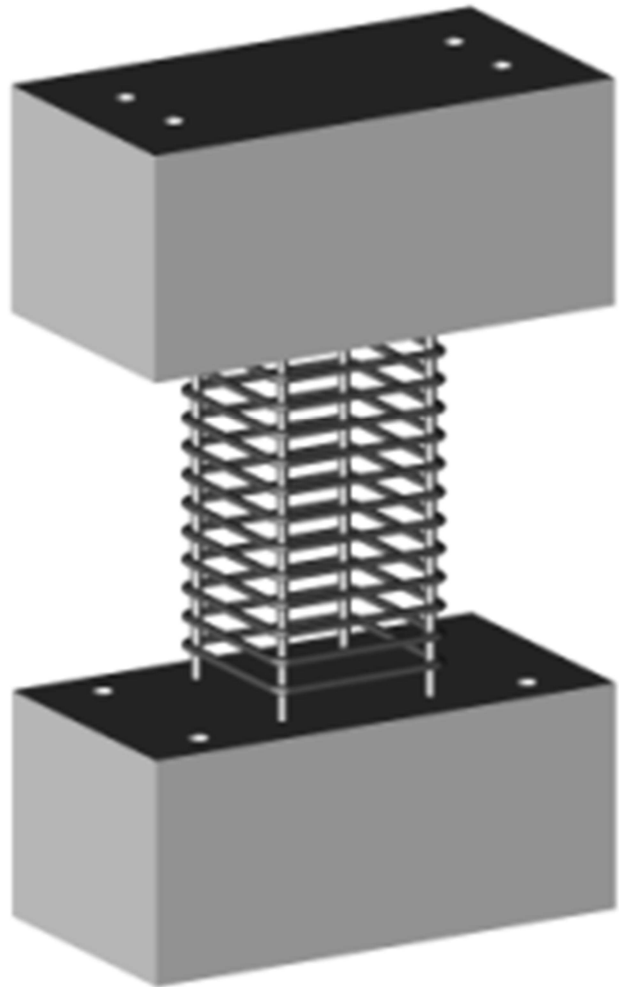


Without concrete



With concrete

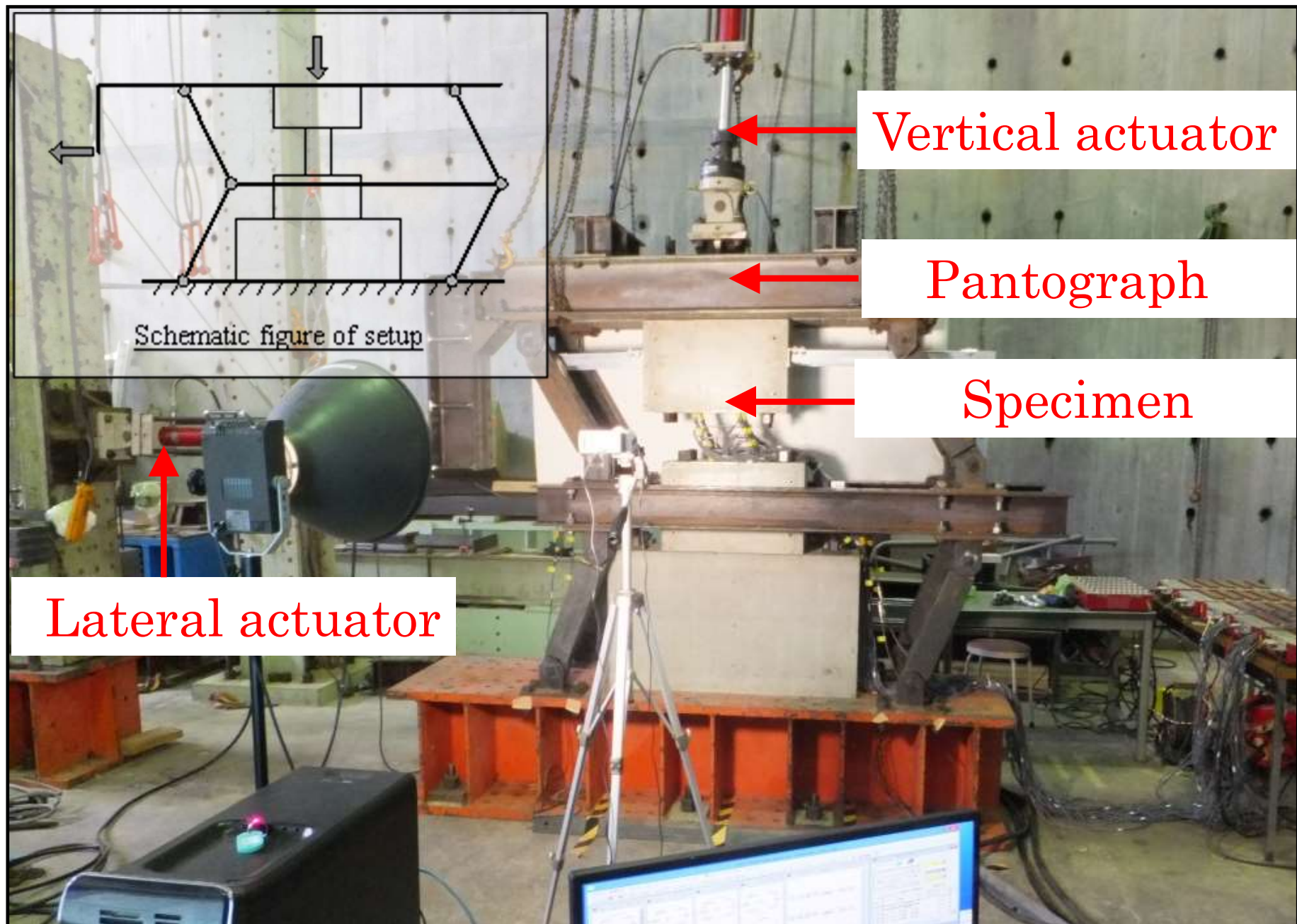
Series 1 Without concrete

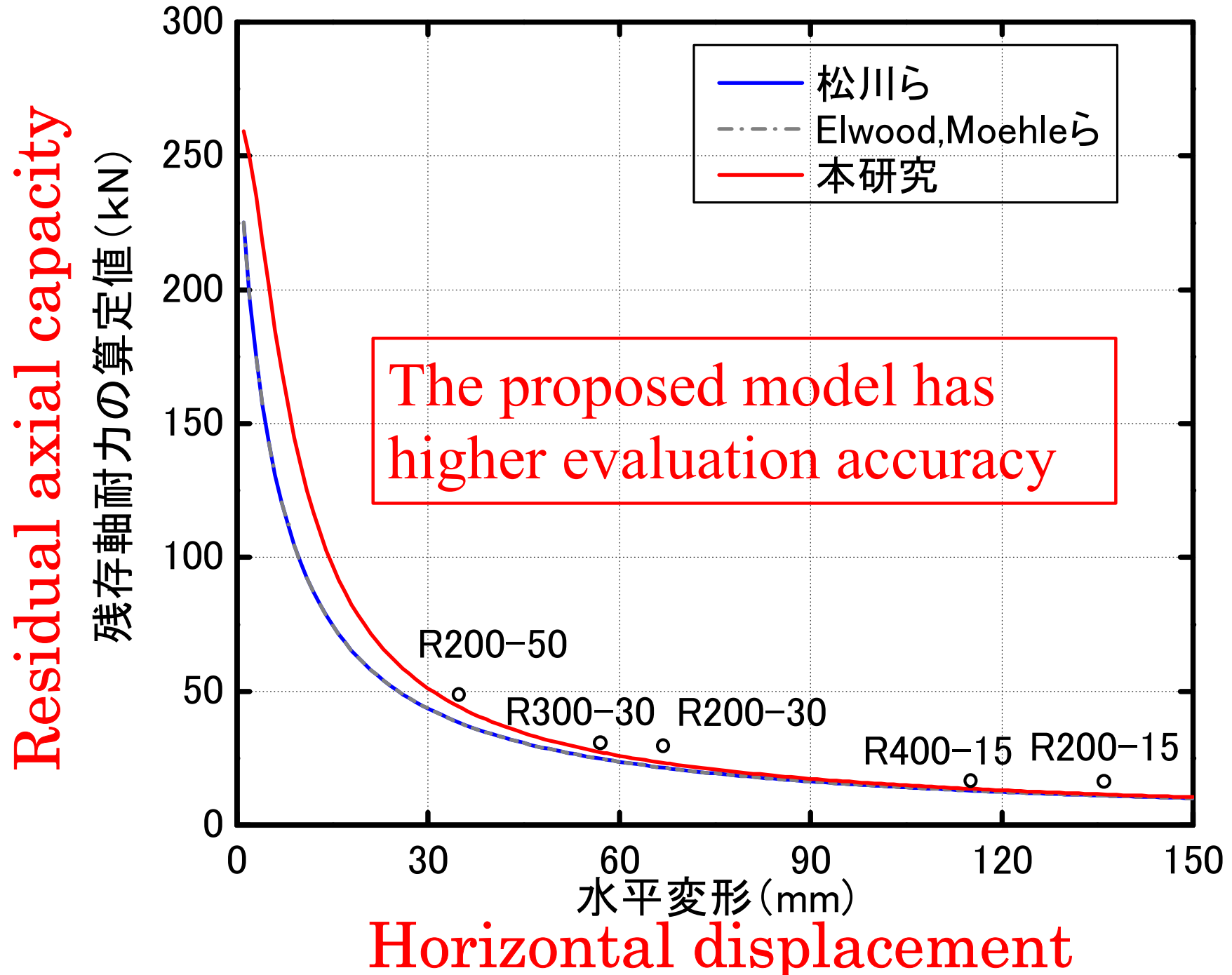


コンクリートFc21 (スタブ用)

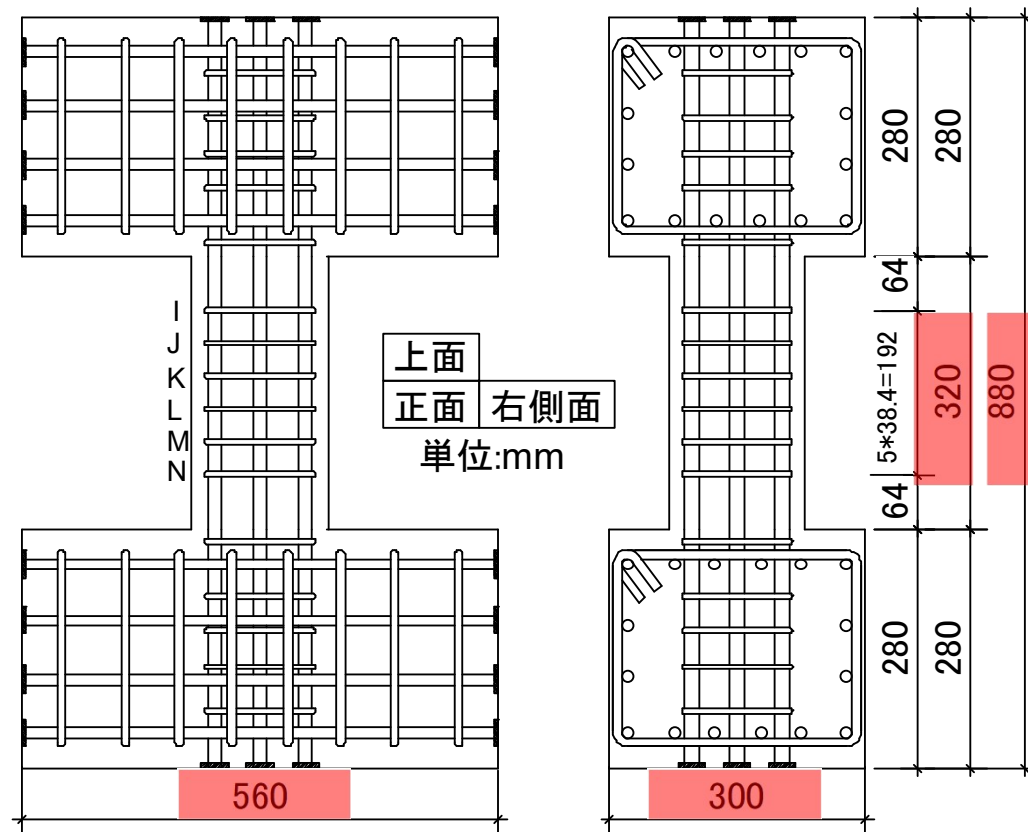
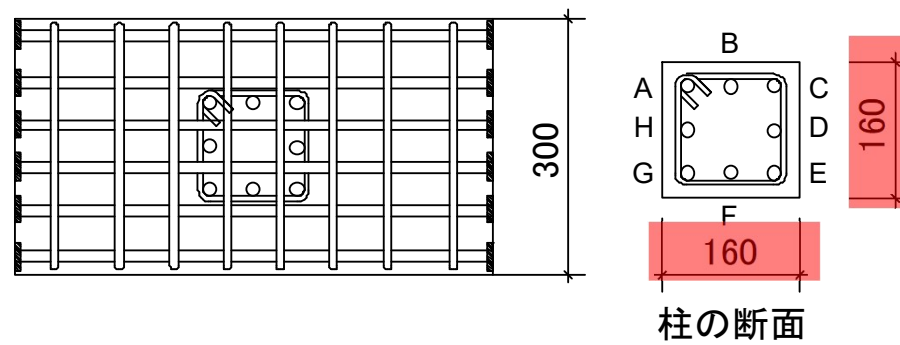
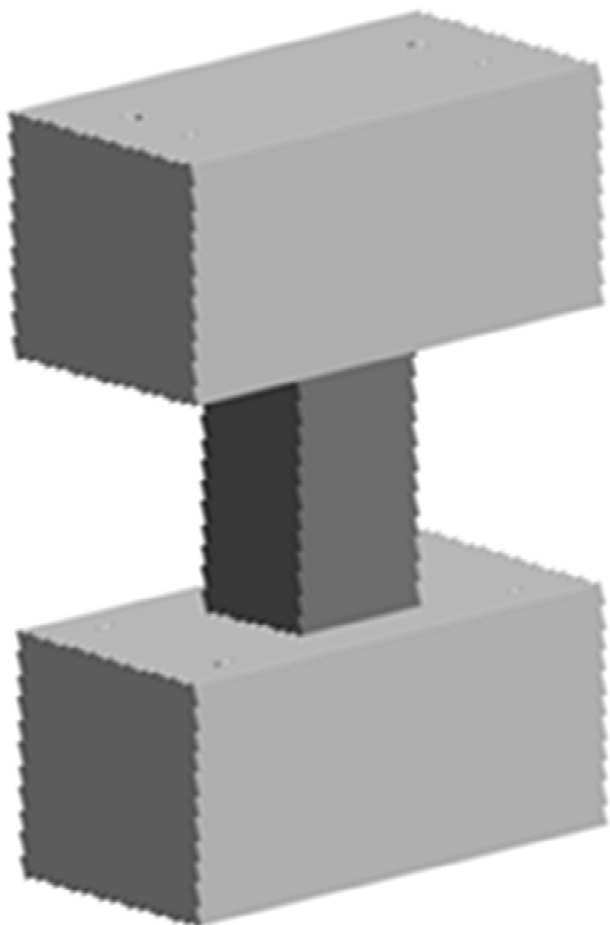
柱: 主筋4D16 (SD345), せん断補強筋 $\phi 6@50$ (SR235)

スタブ: 主筋8D16 (SD345), せん断補強筋D10@100 (SD345)





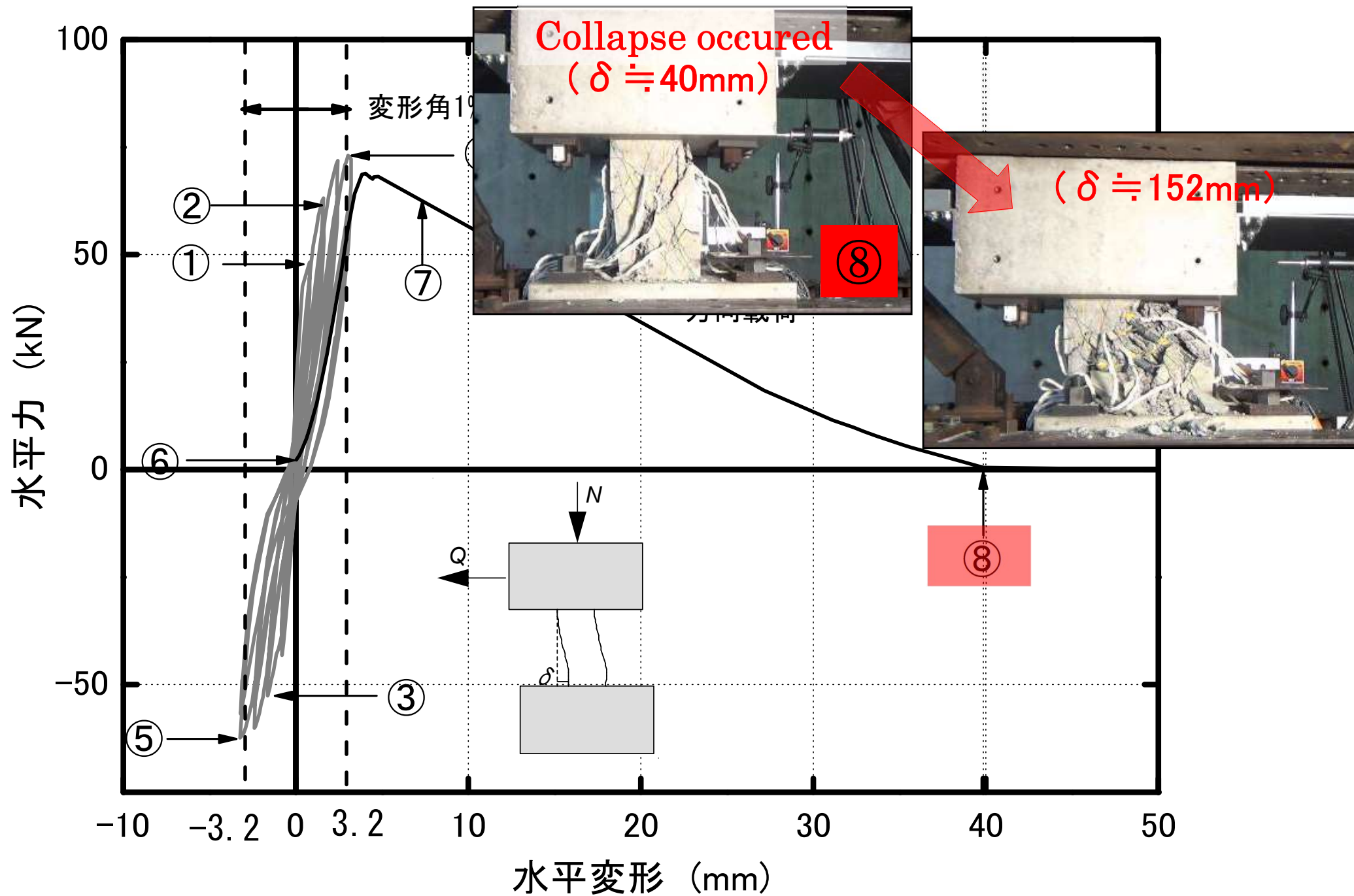
Series 2 With concrete



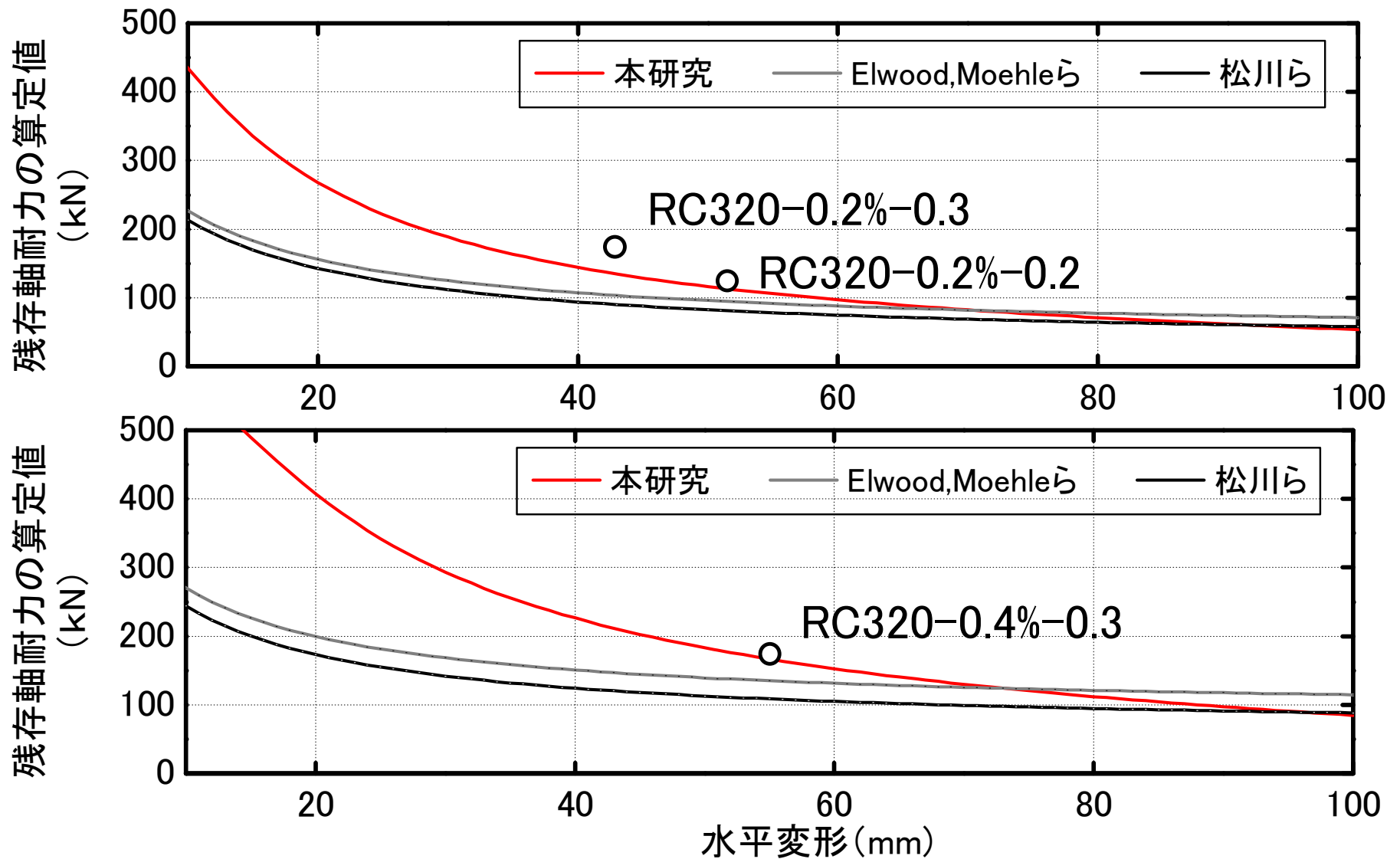
コンクリートFc18

柱：主筋8D16 (SD295A)，せん断補強筋D4@38.4 (SD295A)

スタブ：主筋16D13 (SD345)，せん断補強筋D10@65 (SD345)



Residual axial capacity



Horizontal displacement

The proposed model has a higher evaluation accuracy

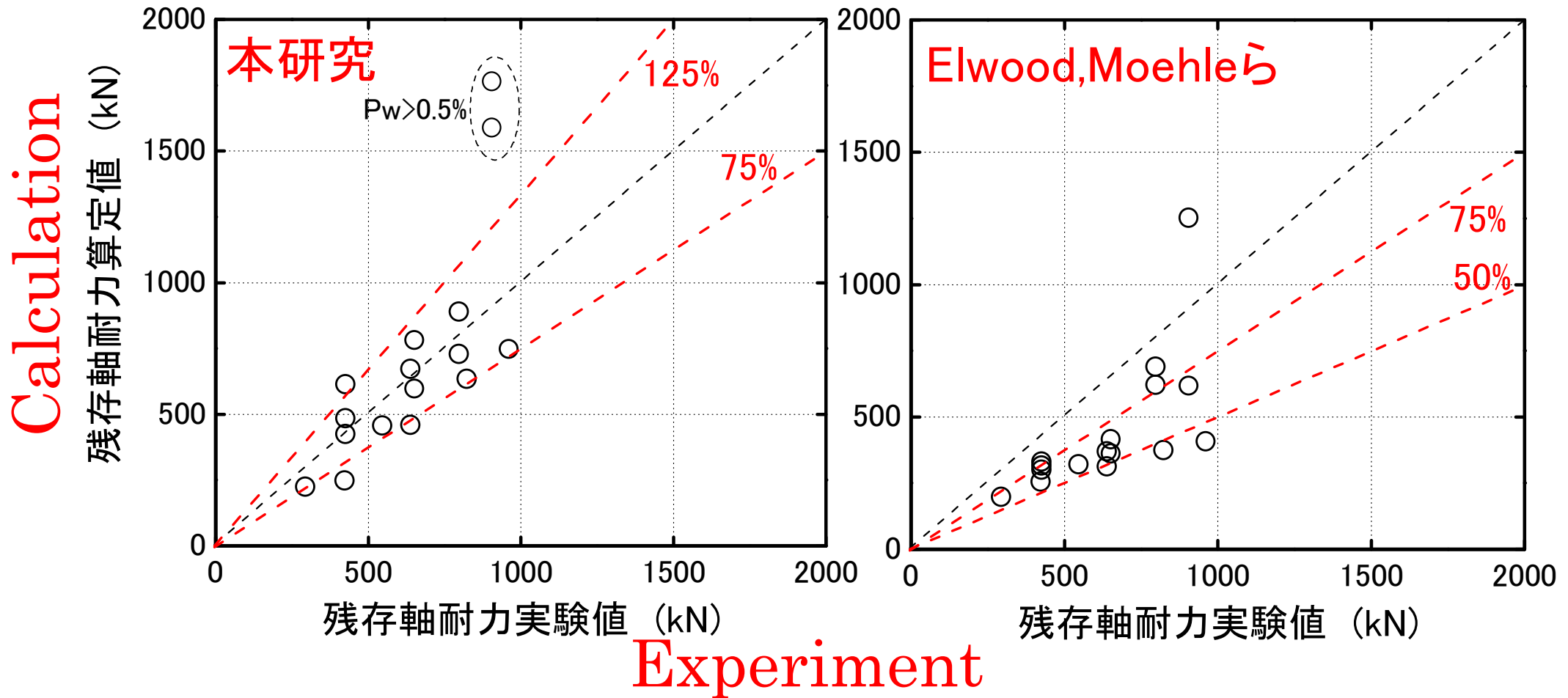
表3.1 提案したせん断破壊したRC造柱の残存軸耐力評価手法の検証データベース

NO.	試験体名	柱せい (mm)	柱幅 (mm)	柱内法高さ (mm)	コンクリートかぶり厚さ (mm)	コンクリート強度 (N/mm ²)	コンクリートヤング係数 (N/mm ²)	主筋公称直径 (mm)	主筋本数 (本)	主筋の降伏強度 (N/mm ²)	主筋比 P _g	補強筋公称直径 (mm)	補強筋の間隔 (mm)	補強筋の降伏強度 (N/mm ²)	補強筋フック 1→135° 2→溶接	補強筋比 P _w	崩壊時の残存軸耐力 (N)	軸力比 η	崩壊時変形角(%)	崩壊変形 (mm)	加力方向 1→単調 2→繰返し	参考文献
1	N27C	300	300	900	25	27	23430	15.9	12	380	0.0265	6.35	100	375	1	0.0021	643950	0.27	3.00	27.00	2	文献[3.1]
2	N18M	300	300	900	25	27	23430	15.9	12	380	0.0265	6.35	100	375	1	0.0021	429300	0.18	9.25	83.25	1	
3	N27M	300	300	900	25	27	23430	15.9	12	380	0.0265	6.35	100	375	1	0.0021	643950	0.27	4.70	42.30	1	
4	2C	300	300	600	31	25	23041	15.9	12	396	0.0265	6.35	100	392	1	0.0021	430920	0.19	7.80	46.80	2	文献[3.2]
5	3C	300	300	600	31	25	23041	15.9	12	396	0.0265	6.35	100	392	1	0.0021	657720	0.29	5.30	31.80	2	
6	2M	300	300	600	31	25	23041	15.9	12	396	0.0265	6.35	100	392	1	0.0021	430920	0.19	6.67	40.02	1	
7	3M	300	300	600	31	25	23041	15.9	12	396	0.0265	6.35	100	392	1	0.0021	657720	0.29	3.73	22.38	1	
8	2M13	300	300	600	33	25	23041	12.7	12	350	0.0169	6.35	100	392	1	0.0021	430920	0.19	3.72	22.32	1	
9	NO.3	300	300	1200	31	31	24608	15.9	12	402	0.0265	6.35	200	392	1	0.0011	552600	0.20	1.90	22.80	2	文献[3.3]
10	NO.4	300	300	1200	31	31	24608	15.9	12	402	0.0265	6.35	100	392	1	0.0021	828900	0.30	2.47	29.64	2	
11	NO.5	300	300	1200	31	31	24608	15.9	12	402	0.0265	6.35	100	392	1	0.0021	967050	0.35	2.00	24.00	2	
12	S1	400	400	900	29	25	23010	22.2	16	547	0.0387	9.53	180	355	1	0.0020	803200	0.20	9.74	87.66	2	文献[3.4]
13	S2	400	400	900	29	25	23010	22.2	16	547	0.0387	9.53	180	355	1	0.0020	803200	0.20	7.89	71.01	2	
14	D13W-1	180	180	360	10	27	23489	12.7	4	335	0.0156	6.35	70	335	2	0.0051	300000	0.35	3.00	12.00	2	文献[3.5]
15	PG1.7	450	450	900	41	25	22980	19.1	12	390	0.0170	9.53	60	390	2	0.0053	911250	0.18	7.70	69.30	2	文献[3.6]
16	PG3.0	450	450	900	38	25	22980	25.4	12	390	0.0300	9.53	60	390	2	0.0053	911250	0.18	14.12	127.08	2	

Experimental database

- ◆ Span to depth ratio: 2~4;
- ◆ Longitudinal steel ratio: 1.18~3%;
- ◆ Axial load ratio: 0.12~0.35;
- ◆ Transverse steel ratio: 0.13~0.53%;

Calculation VS. Experiment



The proposed model has a higher evaluation accuracy

・本研究では、せん断破壊が発生しうるRC造柱を対象に、せん断破壊後の残存軸耐力評価について検討を行い、以下の知見を得た:

- (1) 提案した評価モデルより**軸崩壊のメカリズム**を合理的に説明できた (The collapse mechanism is proposed for shear-damaged RC columns)。
- (2) 提案した残存軸耐力評価式の精度を加力実験データより確認できた (Accuracy investigation is conducted through loading tests and it shows the proposed model has a higher accuracy than other models)。

ご清聴ありがとうございました！

Thank you!