

RC ラーメン橋脚の構造諸元が靱性率に与える影響

学生氏名 兼子 史太
 指導教員 吉川 弘道
 青戸 拓起

1. はじめに

国土交通省「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム」(H17~H19)の実施により、緊急輸送道路の耐震補強が重点的に、かつ迅速に進められた。このような中で、合理的かつ効果の高い耐震補強のひとつに、下部構造の変形性能を向上させる補強方法がある。

そこで、本研究では、鉄筋コンクリート(以下RC)ラーメン橋脚を対象に水平力を静的に加える「静的プッシュオーバー解析」を実施し、部材寸法(断面幅、柱高さ)及び鉄筋比(梁・柱の鉄筋径)が、破壊形態および変形性能(許容塑性率)に与える影響を検討した。ラーメン橋脚を代表とする不静定構造では、梁・柱の部材寸法のバランスが、許容塑性率に大きな影響を及ぼすことが確認できた。

2. 道路橋示方書によるラーメン橋脚の設計計算方法

(1) 許容塑性率と地震時保有水平耐力

道路橋示方書V耐震設計編(以下、道示V)においてRC橋脚の破壊形態の判定、地震時保有水平耐力及び許容塑性率は図-1のような算出フローにより定義されている。ここで図-2に曲げ破壊型におけるRCラーメン橋脚の水平力-水平変位関係を示す。¹⁾

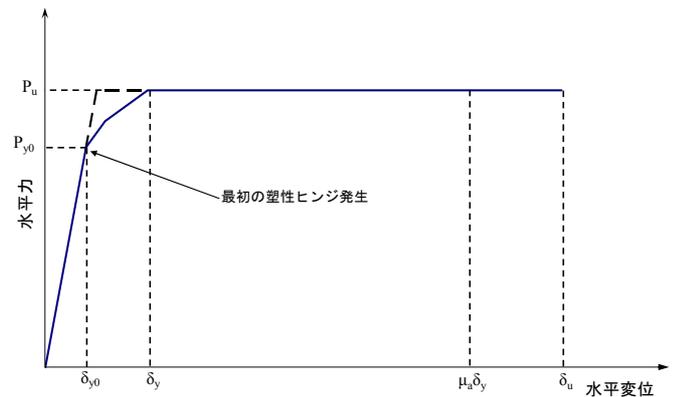
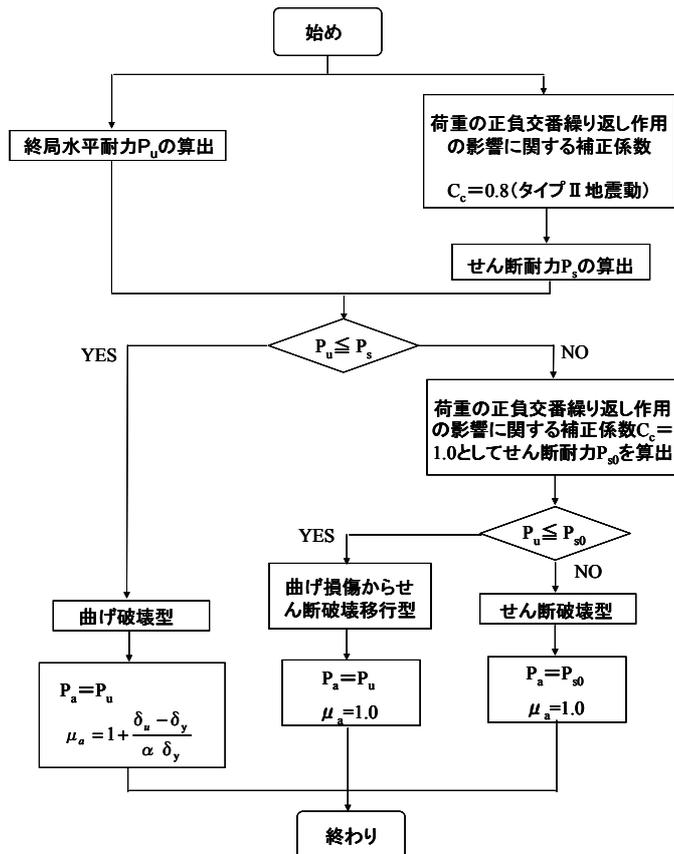


図-2 RC ラーメン橋脚の P-δ 関係

ここで、図-2 に示す水平力の最大値を終局水平耐力 P_u とする。また、1 番目の塑性ヒンジが降伏に達するときの水平変位を δ_{y0} 、水平力を P_{y0} とし、式(1)により降伏変位を算出する。

$$\delta_y = \delta_{y0} \frac{P_u}{P_{y0}} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 δ_y : 降伏変位 P_u : 終局時の水平力

図-1 地震時保有水平耐力及び許容塑性率の算出フロー

(2) 塑性ヒンジと破壊形態

RC ラーメン橋脚は、作用する水平力を増加させてゆくと各部材端部に塑性ヒンジを形成する。ここでは、塑性ヒンジが先行して発生、降伏する断面により図-3 のように破壊形態を分類した。

3. 解析対象と解析手法

(1) 解析対象

10 径間連続鋼 I げた橋(地震時水平力分散構造, 支間割 40m×10 径間, 全幅員 19.45m)の, P2 橋脚を対象とした²⁾. 図-4 に対象橋脚の概観図を, 表-1 に構造諸元を示す.

表-1 対象橋脚の構造諸元

柱高さ(m)		7.3
断面幅×奥行き(m)		2.0×2.4
固有周期 T(s)		1.00
使用材料	コンクリート σ_{ck} (N/mm ²)	21
	鉄筋	SD295
等価重量 W(MN)		7.58

(2) 解析対象のモデル化

図-4 に示した RC ラーメン橋脚の慣性力作用位置に, 水平力を静的に加え, 静的プッシュオーバー解析を実施する³⁾. 図-5 のように, 対象とする RC ラーメン橋脚を, 39 点の多質点多要素系の骨組みにモデル化する. 隅角部には, 道示 V に従い剛域を設ける. 同図中, A~F は, 塑性ヒンジの想定箇所を表している. 図-6 に, 使用材料(コンクリート, 鉄筋)の応力ひずみ曲線を示す.

ラーメン橋脚の破壊形態の分類

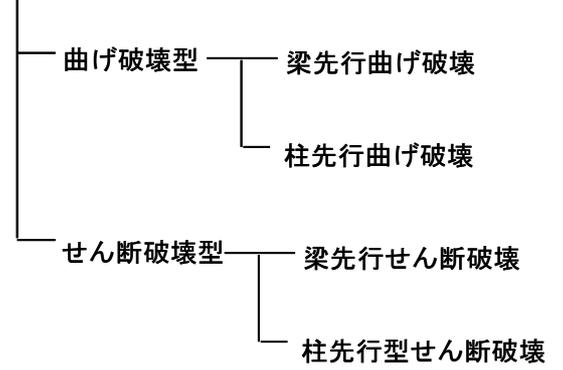


図-3 破壊形態の分類

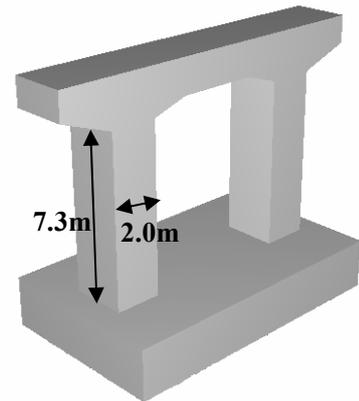


図-4 解析対象

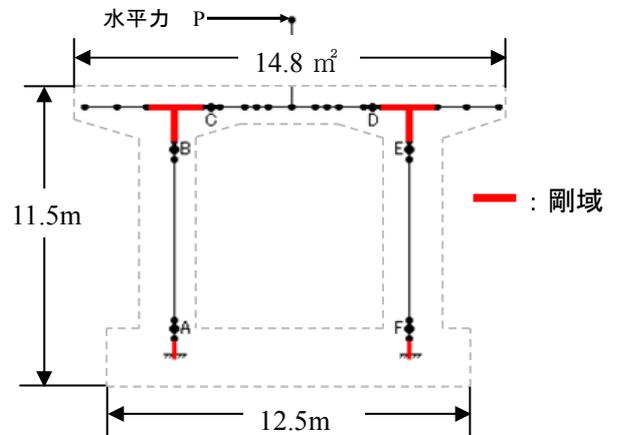


図-5 骨組みモデル

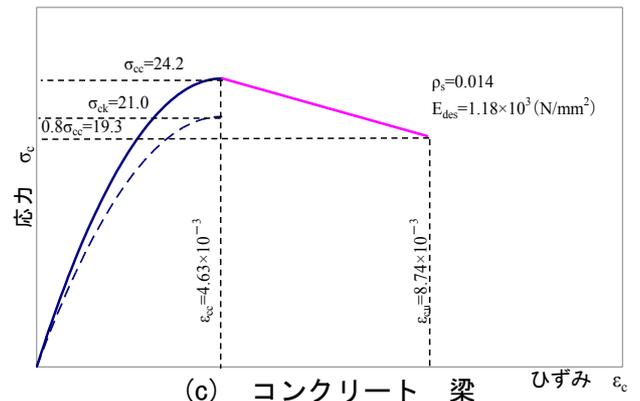
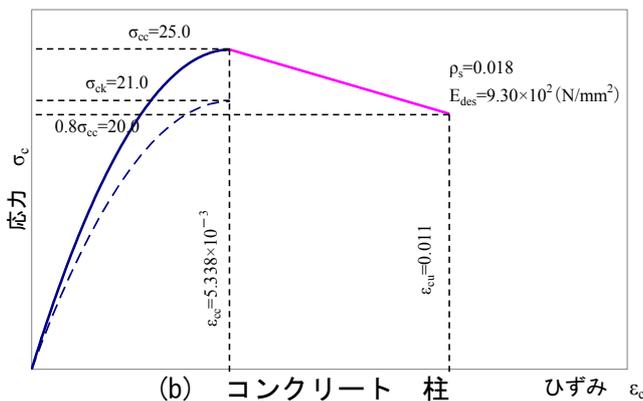
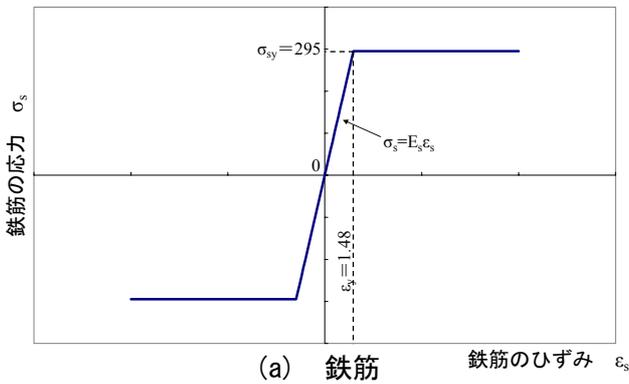


図-6 材料モデル

ここに、 σ_c : コンクリート応力(N/mm²), σ_{ck} : コンクリートの設計基準強度(N/mm²), σ_{cc} : 横拘束筋で拘束されたコンクリートの強度(N/mm²), ϵ_c : コンクリートひずみ, ϵ_{cc} : コンクリートが最大圧縮応力に達する時のひずみ, ϵ_{cu} : 横拘束筋で拘束されたコンクリートの終局ひずみ, ρ_s : 横拘束筋の体積比, E_{des} : 下降勾配(N/mm²), である. 同図 (b), (c) において, 点線は横拘束筋が無い場合の応力度-ひずみ関係を表し, 実線が横拘束筋によりコンクリートが拘束された場合の応力-ひずみ関係を表している. 静的プッシュオーバー解析においては, 横拘束効果を見込んだ後者の応力-ひずみ関係を用いる.

(3) パラメトリックシミュレーション

部材寸法や鉄筋比などの構造諸元が RC ラーメン橋脚全体の破壊形態, または靱性に与える影響を検討するため, 構造諸元(寸法, 鉄筋比)を変化させ, パラメトリックシミュレーションを実施する. 表-2 に, 検討ケース(全6 ケース)を示す. 表において「—」のパラメータについては標準モデルの値を用いている.

表-2 パラメーター一覧

		パラメーター	柱高さh (m)	断面幅B (m)	軸方向鉄筋比 p_t (%)		帯鉄筋比 p_w (%)	
標準モデル			7.30	2.00	D32	D22	D29	D22
ケース	パラメーター	部材位置	柱	柱	柱	梁	柱	梁
1	柱高さh (m)	柱	3.4~15.5	—	—	—	—	—
2	断面幅B (m)	柱	—	0.95~3.90	—	—	—	—
3	軸方向鉄筋比 p_t (%)	柱	—	—	D16~D51	—	—	—
4		梁	—	—	—	D25~D51	—	—
5	帯鉄筋比 p_w (%)	柱	—	—	—	—	D16~D51	—
6		梁	—	—	—	—	—	D16~D51

4. 解析結果

図-7(a) に柱高さ h 及び断面幅 B と, 塑性率の関係 (ケース 1, 2) を, 同図 (b) に柱高さ及び, 断面幅と終局時の水平力(水平耐力) の関係を示す. ここではタイプ II 地震動に対する許容塑性率 ($\alpha=1.5$) と, 部材塑性率(靱性率, $\alpha=1.0$) を示す. 上記 2 つの曲線を比較してみると, 部材塑性率よりも許容塑性率は安全係数小さい値になっていることが確認できる. 図-7(a) より, 許容塑性率 μ_a については, ケース 1 の場合, $h/B=2.65$ まで増大するが, その後減少する. ケース 2 の場合, h/B の増大に応じて減少するが, $h/B=6.45$ まではゆるやかな変化となる. 破壊形態については, ケース 1 の場合, $h/B=2.03$ で柱先行せん断破壊から柱先行曲げ破壊に, $h/B=2.65$ で柱先行曲げ破壊から梁先行曲げ破壊に変化する. ケース 2 の場合は, $h/B=2.80$ で柱先行せん断破壊から梁先行曲げ破壊に, $h/B=6.64$ で梁先行曲げ破壊から柱先行曲げ破壊に変化する. 同図 (b) では, 水平力 P_u は h/B が大きくなるほど, 減少している.

図-8 (a) に主鉄筋比 p_t と許容塑性率 μ_a の関係(ケ

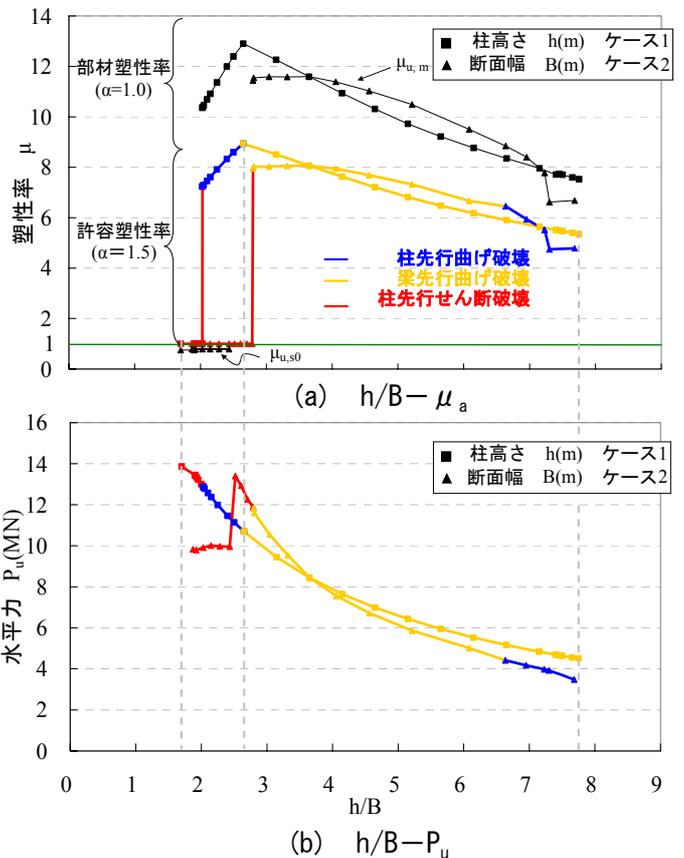


図-7 柱高さと断面幅の変化

ース 3, 4)を, 同図 (b) には帯鉄筋比 p_w と許容塑性率 μ_a の関係を(ケース 5, 6)示す.

図-8 (a) より, ケース 3 では, 全て梁先行曲げ破壊の破壊形態となり, 主鉄筋比の増加に伴い許容塑性率が減少する. ケース 4 では, 主鉄筋径 D13~D22 において曲げ耐力不足となり, 計算結果が算出できなかった. 破壊形態は D25 と D29 では梁先行曲げ破壊, D32 以降では梁先行せん断破壊となった. 主鉄筋比 p_t の増大は, 許容塑性率の減少をもたらし, 特にケース 4 の場合はその傾向が顕著であった.

図-8 (b) より, ケース 5 では, 鉄筋径 D19 ($p_w=0.478$)において許容塑性率 μ_a は最大値 8.14 をむかえ, その後一定値となる. これは横拘束鉄筋の体積比 ρ_s の上限値を $\rho_s=0.018$ としているため, 鉄筋径 D22($p_w=0.645$)以降がこれに相当する. ケース 6 では, 鉄筋径 D25 ($p_w=0.563$) で許容塑性率の最大値 $\mu_a=10.2$ をむかえ, その後一定値となる. 破壊形態は, 帯鉄筋比 p_w の増大に伴い, ケース 5 は柱先行せん断破壊から梁先行曲げ破壊へ, ケース 6 は梁先行せん断破壊から梁先行曲げ破壊に変化する. 帯鉄筋 p_w の増大は, 許容塑性率を大きく増大する効果が見られた.

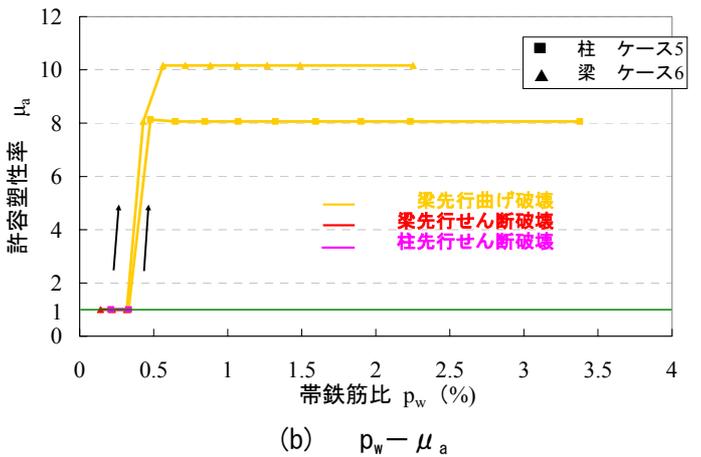
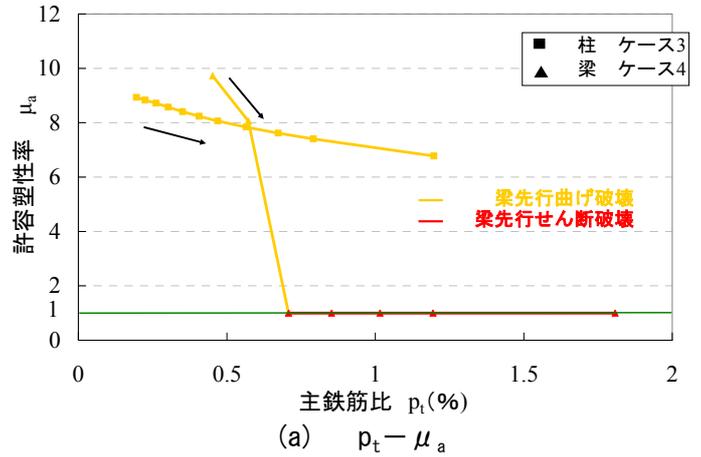


図-8 鉄筋径の変化

表-3 に解析結果から得られた破壊形態の分類と各パラメータの関係を示す.

表-3 各破壊形態に対応するパラメータの範囲

破壊形態	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6
破壊形態	h(m)	B(m)	p_t (-)	p_t (-)	p_w (-)	p_w (-)
柱先行曲げ破壊	4.06~5.30	0.95~1.10	—	—	—	—
梁先行曲げ破壊	3.40~4.05	1.20~2.61	0.196~1.20	0.450~0.708	0.331~3.38	0.331~2.25
柱先行曲げ破壊	—	—	—	—	0.211~0.331	—
梁先行曲げ破壊	5.30~15.5	2.62~3.90	—	0.708~1.80	—	0.140~0.331

4. まとめ

- 1) 部材寸法 (断面幅・柱高さ), 鉄筋比 (柱および梁の鉄筋径) についてパラメトリックシミュレーションを実施し, RC ラーメン橋脚の破壊形態と変形性能 (許容塑性率) に与える影響を, プッシュオーバー解析により検討した.
- 2) 部材寸法と鉄筋比が許容塑性率と破壊形態に与える影響は, 部材寸法のほうが大きいことが確認できた.

【参考文献】

- 1) 日本道路協会道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 1996 年
- 2) 社団法人 日本道路協会: 道路橋の耐震設計に関する資料, 社団法人 日本道路協会, 平成 9 年 4 月
- 3) 株式会社 FORUM8: RC 下部工の設計計算 Ver.3. 2005 年 9 月