

鋼構造骨組の柱梁耐力比が損傷集中に及ぼす影響 (その2 P Δ 効果の影響)

正会員○永元亮太* 同 友澤悟史* 同 小川厚治**

2. 構造-10. 鉄骨構造

柱梁耐力比, P Δ 効果, 梁崩壊型, 損傷集中, 最大層間変位角

1. 序 前報その1では, 各層の最大層間変位角の最大値は柱梁耐力比の影響を大きく受けており, その結果, 柱梁耐力比を増大させることによって, 各層の層間変位角が一様化すると共に, 各層の最大層間変位角の平均値も減少することを示した. 本報その2では, P Δ 効果を無視した解析を行い, 柱梁耐力比による特定層への変形集中傾向の変化がP Δ 効果の影響を受けるかを検討する.

2. 解析概要 P Δ 効果は無視しているが, 解析骨組, 入力地震波は前報その1と同じとする.

3. 解析結果 図1は $V_{dm} = 1.5 \text{ m/s}$, 地震波 la01 を入力したとき, P Δ 効果を無視した場合の4層, 8層, 12層骨組における各層の最大層間変位角 R_i が, 柱梁耐力比 γ を増していくにつれ, どのように変化していくかを表したものである. $\gamma = 1$ のとき, 4層骨組では最下層で, 8層骨組では6層で, 12層骨組では2層で, それぞれ最大層間変位角が大きくなっており, 特定層で変形が集中している. 変形が集中している層の最大層間変位角は, γ の増大に伴い減少していく. しかし, γ を1.2までの増大させると急激に減少するが, それ以上 γ を大きくしても変化はほとんど認められない. また, その1図2のP Δ 効果を考慮したときと比べると, 変形集中層での最大層間変位角は若干小さくなっている.

その1と同様に, P Δ 効果を無視した場合においても各層の最大層間変位角の最大値 R_{max} を検討する. 図2はP Δ 効果を無視したときの各層の最大層間変位角の最大値 R_{max} と柱梁耐力比 γ との関係を示している. 図中の◇で示した点は, la01 から la40 の各地震波を用いたときの, γ に対する R_{max} の応答値である. また実線は, 各骨組の応答値が対数正規分布すると仮定したときの中央値である. さらにP Δ 効果の有無によって R_{max} にどの程度違いがでてくるのかを比較するため, 前報その1で示したP Δ 効果を考慮した場合の R_{max} の対数正規分布の中央値を図中の破線で示している. 図2によると, 全体的に破線が実線を上回る傾向があり, R_{max} の差は, 層数が多いほど, 外乱強度が大きいほど大きくなる. 特に, $\gamma = 1$ のときでは, P Δ 効果の影響は大きい. $\gamma = 1$ でのP Δ 効果の有無による R_{max} の差は, $V_{dm} = 1.5 \text{ m/s}$ の4層骨組では6%, 8層, 12層骨組では8%である. また $V_{dm} = 2.25 \text{ m/s}$ の4層, 8層骨組では10%, 12層骨組では20%, $V_{dm} = 3.0 \text{ m/s}$ の4層, 8層骨組では15%, 12層骨組では36%である. このように, R_{max} は $\gamma = 1$ のときP Δ 効果の影響を大きく受けるが, γ の増大と共にP Δ 効果の影響は小さくなっていく. $\gamma = 2$ のときのP Δ 効果の有無による R_{max} の差は, $V_{dm} = 1.5 \text{ m/s}$ の4層骨組では2%で

あり, 本解析例中最も大きい $V_{dm} = 3.0 \text{ m/s}$ の12層骨組でも8%程度である.

図3は, 図2の実線で示した中央値について, 柱梁耐力比が γ のときの値 $R_{max \gamma}$ と柱梁耐力比が2のときの値 $R_{max 2}$ の比を示したものである. 図中の実線はP Δ 効果

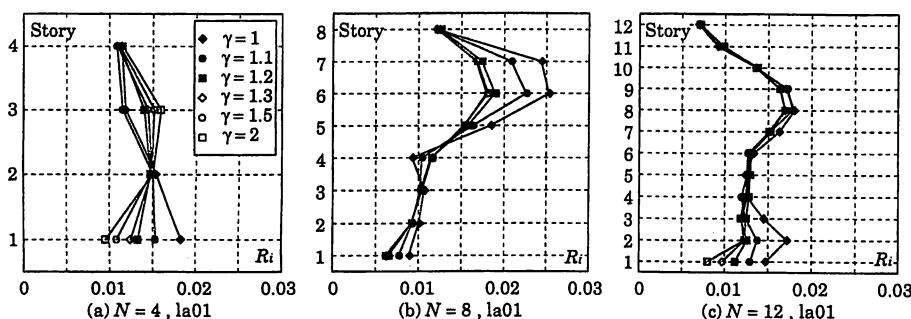


図1 各層の最大層間変位角 R_i

Effect of Column-to-beam Strength Ratio on Damage Concentration of Steel Frames

(Part 2: P- Δ Effect)

NAGAMOTO Ryota, TOMOZAWA Satoshi and OGAWA Koji

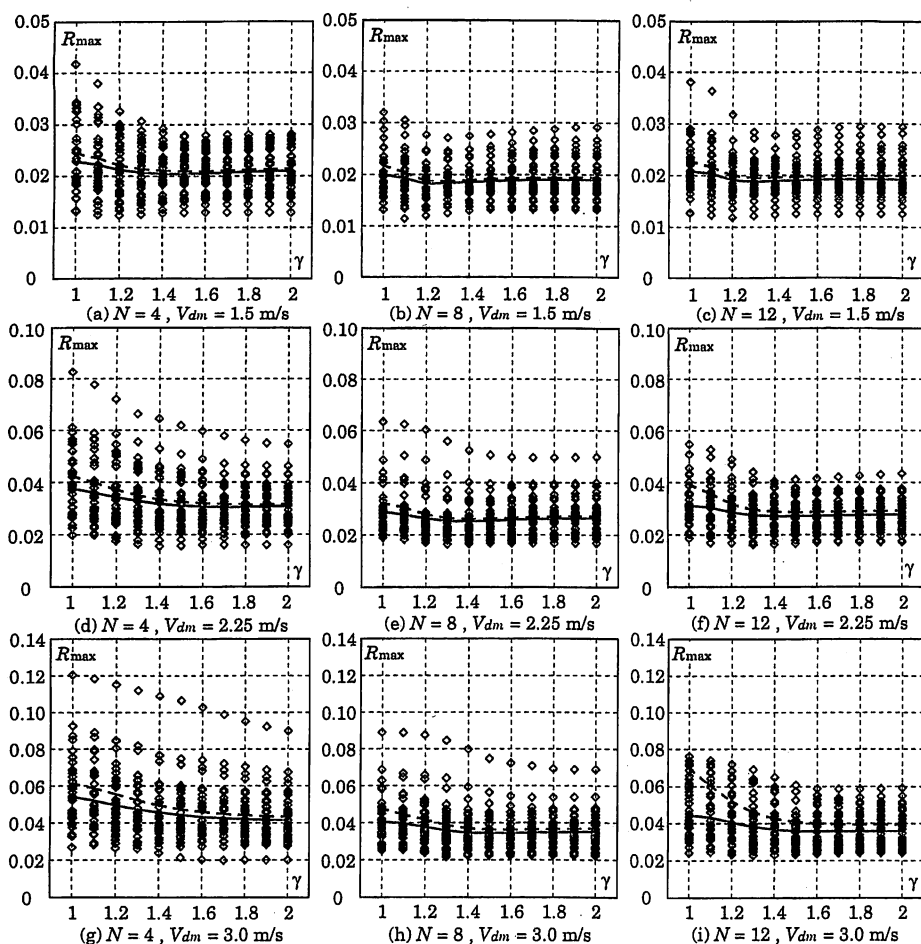


図2 PΔ 効果を見無視したときの各層の最大層間変位角の最大値 R_{\max}

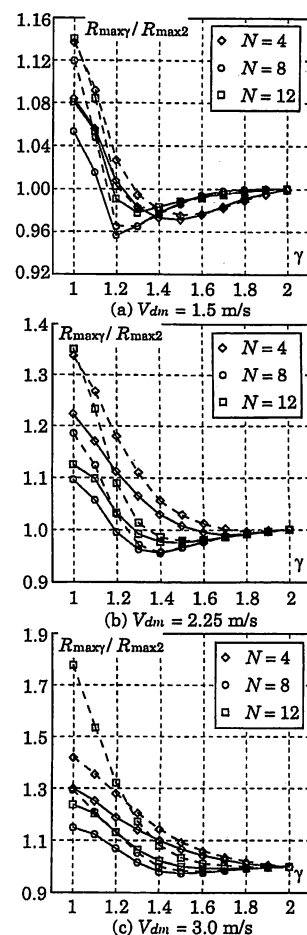


図3 $R_{\max \gamma} / R_{\max 2}$

を見無視した場合、破線は PΔ 効果を考慮した場合である。図3によると、 $R_{\max \gamma} / R_{\max 2}$ の値は、層数 N 、入力レベル V_{dm} に関わらず、 γ の小さい領域では常に破線が実線を上回っている。 $\gamma = 1$ のとき、実線と破線が最も差のある $V_{dm} = 3.0 \text{ m/s}$ での 12 層骨組では、PΔ 効果を考慮したときは 1.8 であるのに対して、PΔ 効果を見無視すると約 1.25 まで減少している。これらのことから PΔ 効果を見無視することによって、柱梁耐力比が R_{\max} に及ぼす影響は小さくなることが分かる。

図2、図3によると、 R_{\max} が γ の増大に伴い減少していき γ がある値を超えるとほぼ一定になるということは PΔ 効果の有無に関わらず同じである。 R_{\max} が一定になる γ の値は、PΔ 効果を見無視した場合も考慮した場合と同様に、 V_{dm} が 1.5 m/s のときは 1.2、 V_{dm} が 2.25 m/s のときは 1.4、 V_{dm} が 3.0 m/s のときは 1.5 程度である。

R_{\max} については、 γ の増大に伴い、PΔ 効果の影響が小さくなっていくと共に、PΔ 効果を見無視すると、

柱梁耐力比の影響も小さくなっていく。

次に、PΔ 効果を見無視した場合の R_{mean} に関して検討する。図4は PΔ 効果を見無視したときの各層の最大層間変位角の平均値 R_{mean} と柱梁耐力比 γ との関係を示している。ここで各層の最大層間変位角の平均値 R_{mean} は前報その1で定義した値である。図中の◇は γ に対する PΔ 効果を見無視した場合の R_{mean} の応答値である。また実線は、各骨組の応答値が対数正規分布すると仮定したときの中央値である。さらに、前報その1で示した PΔ 効果を考慮した場合の R_{mean} の対数正規分布の中央値を図中の破線で示している。図4によると、破線が実線を上回る傾向があり、特に $\gamma = 1$ のときでは、PΔ 効果の影響は大きい。 $\gamma = 1$ での PΔ 効果の有無による R_{mean} の差は、 $V_{dm} = 1.5 \text{ m/s}$ の各骨組では 5% である。また $V_{dm} = 2.25 \text{ m/s}$ の 4 層、8 層骨組では 7%、12 層骨組では 11%、 $V_{dm} = 3.0 \text{ m/s}$ の 4 層、8 層骨組では 8%、12 層骨組では 20% である。このように、 R_{mean} は、 $\gamma = 1$ のとき PΔ 効果の影響を大きく受けるが、 γ の増大

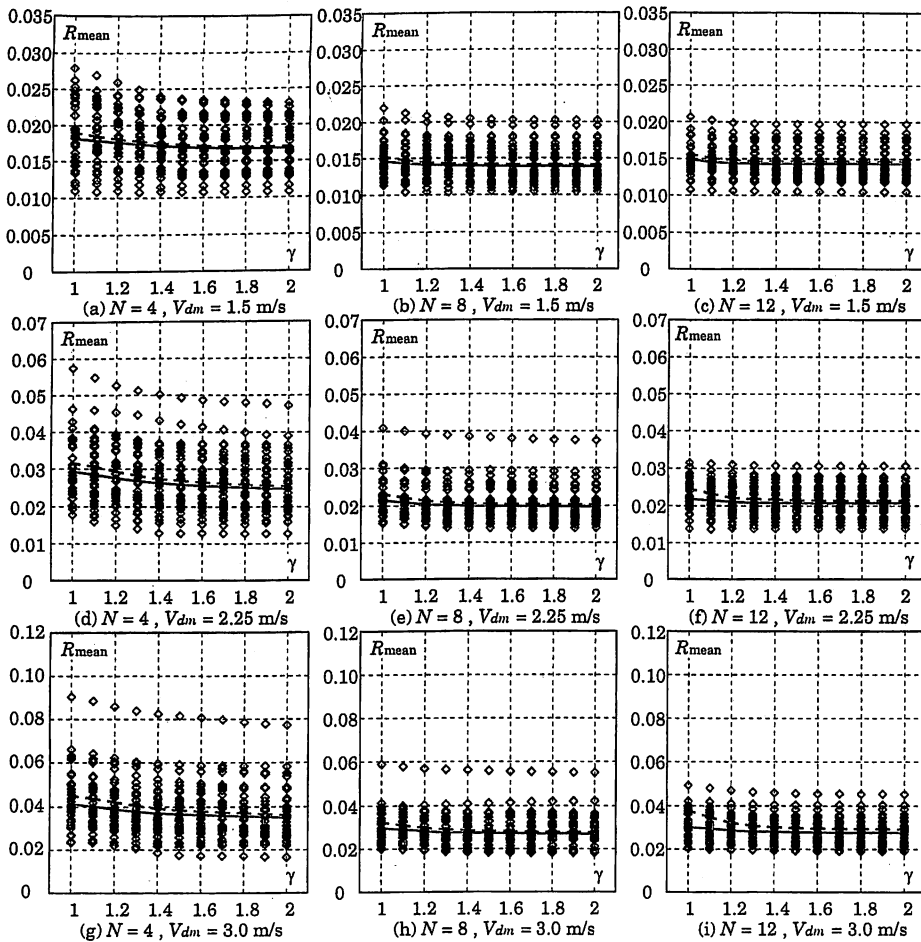


図4 P Δ 効果を見無視したときの各層の最大層間変位角の平均値 R_{mean}

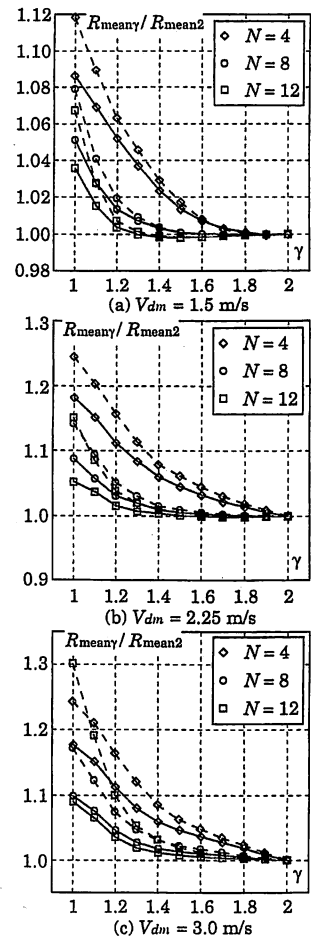


図5 $R_{\text{mean}} \gamma / R_{\text{mean} 2}$

と共に P Δ 効果の影響は小さくなり、 $\gamma = 2$ のときでは P Δ 効果の有無に関わらずほぼ等しい値を示す。 $\gamma = 2$ のとき、P Δ 効果の有無による R_{mean} の差は、 $V_{dm} = 1.5 \text{ m/s}$ の各骨組では 1.5 % 程度である。また、 $V_{dm} = 2.25 \text{ m/s}$ の各骨組では 2.5 %、 $V_{dm} = 3.0 \text{ m/s}$ の 4 層、8 層骨組で 2 % から 3 %、12 層骨組で 5 % 程度である。

図 5 は、図 4 で示した中央値について、柱梁耐力比が γ のときの値 $R_{\text{mean} \gamma}$ と柱梁耐力比が 2 のときの値 $R_{\text{mean} 2}$ の比を示したものである。図中の実線は P Δ 効果を見無視した場合、破線は P Δ 効果を考慮した場合である。図 5 によると、層数 N 、入力レベル V_{dm} に関わらず、 γ の小さい領域では常に破線が実線を上回っている。 $\gamma = 1$ のときの、実線と破線の差が最も大きくなる $V_{dm} = 3.0 \text{ m/s}$ の 12 層骨組では、P Δ 効果を考慮したときは 1.3 であるのに対して、P Δ 効果を見無視すると約 1.1 まで減少している。

以上のことより、 γ の増大に伴い R_{mean} は P Δ 効果の影響が小さくなると共に、P Δ 効果を見無視すると、

柱梁耐力比の影響も小さくなる。従って、図 4 では、P Δ 効果を見無視した場合の実線は、考慮した場合の破線に比べて変化が小さくほぼ水平になる。

本報でも、各層の最大層間変位角の最大値 R_{max} を最大層間変位角の平均値 R_{mean} で除した値 $R_{\text{max}} / R_{\text{mean}}$ を、層間変位角の一様化に対する指標とする。図 6 は P Δ 効果を見無視したときの各層の最大層間変位角の最大値 / 平均値、 $R_{\text{max}} / R_{\text{mean}}$ と柱梁耐力比 γ との関係を示す。図中の \diamond は γ に対する P Δ 効果を見無視した場合の $R_{\text{max}} / R_{\text{mean}}$ の応答値である。また、実線は、各骨組の応答値が対数正規分布すると仮定したときの中央値である。さらに前報その 1 で示した P Δ 効果を考慮した場合の $R_{\text{max}} / R_{\text{mean}}$ の対数正規分布の中央値を図中の破線で示している。図 6 によると、 γ が小さいとき、破線が実線を大きく上回り、 $\gamma = 1$ のときには、P Δ 効果の影響が大きく現れる。 $\gamma = 1$ での P Δ 効果の有無による $R_{\text{max}} / R_{\text{mean}}$ の差は、 $V_{dm} = 1.5 \text{ m/s}$ の 4 層骨組では 2 %、8 層、12 層骨組では 4 % である。また $V_{dm} = 2.25 \text{ m/s}$ の 4 層、8

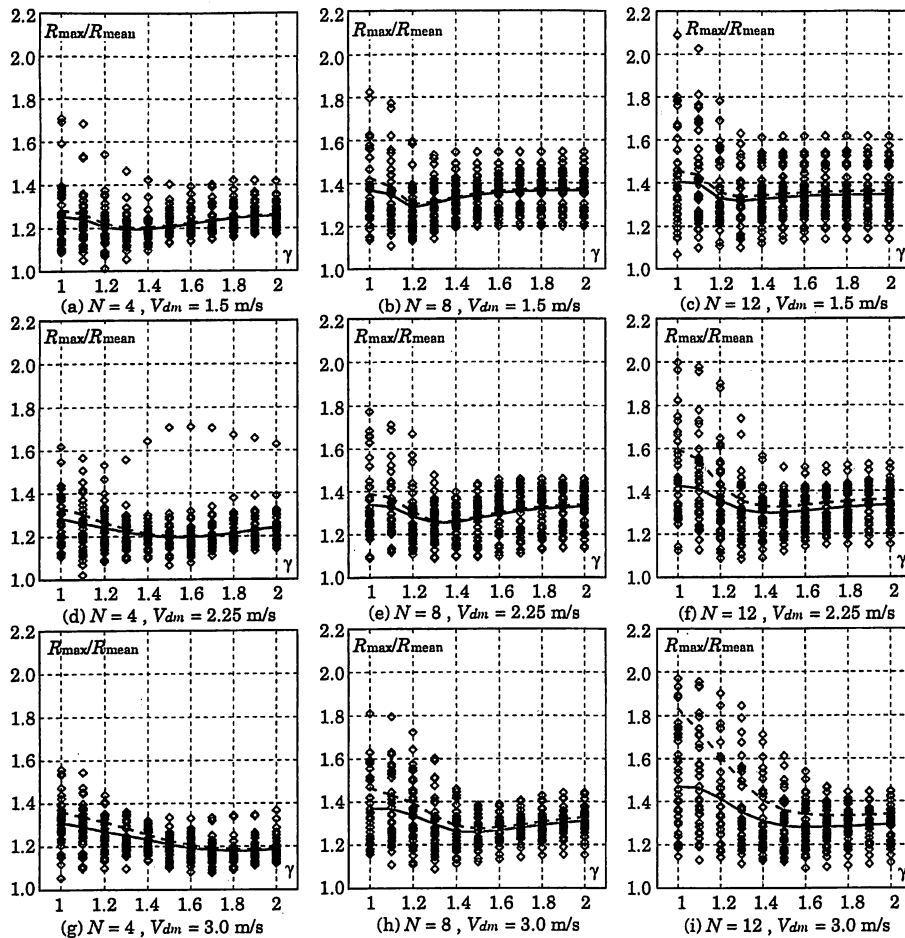


図6 PΔ 効果を見無視したときの

各層の最大層間変位角の最大値 / 平均値 R_{\max}/R_{mean}

層骨組では 3.5 % , 12 層骨組では 11 % , $V_{dm} = 3.0$ m/s の 4 層骨組では 4 % , 8 層骨組では 6 % , 12 層骨組では 20 % である。一方, $\gamma = 2$ のとき, PΔ 効果の有無による R_{\max}/R_{mean} の差は, ほとんどが 1 % に満たず, ほぼ等しい値を示している。

図 7 は, 図 6 の実線で示した中央値について, 柱梁耐力比が γ のときの値 $(R_{\max}/R_{\text{mean}})_{\gamma}$ と柱梁耐力比が 2 のときの値 $(R_{\max}/R_{\text{mean}})_2$ の比を示したものである。図中の実線は PΔ 効果を見無視した場合, 破線は PΔ 効果を考慮した場合である。図 7 によると, 層数 N , 入力レベル V_{dm} にかかわらず γ の小さい領域では破線が実線を上回っている。 $\gamma = 1$ のとき, 実線と破線の差が最も大きい $V_{dm} = 3.0$ m/s の 12 層骨組では, PΔ 効果を考慮したときは約 1.4 であるが, PΔ 効果を見無視すると約 1.1 まで減少している。この

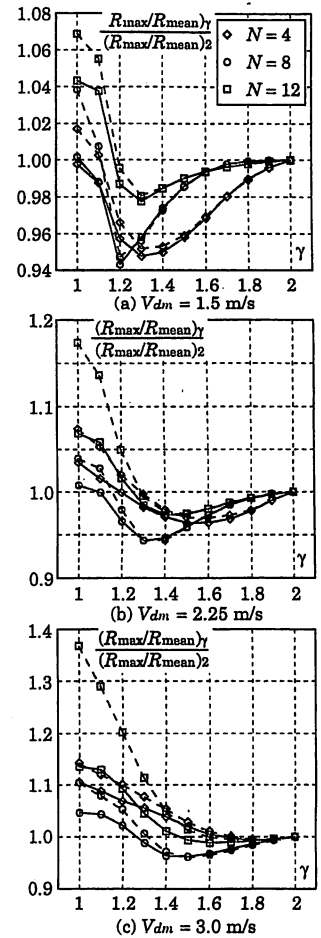


図7 $\frac{(R_{\max}/R_{\text{mean}})_{\gamma}}{(R_{\max}/R_{\text{mean}})_2}$

ことから PΔ 効果を見無視することによって柱梁耐力比が R_{\max}/R_{mean} に及ばず影響は小さくなっている。図 6, 図 7 より, R_{\max}/R_{mean} は, γ の増大に伴い減少していき γ がある値を超えるとほぼ一定になる。 R_{\max}/R_{mean} が一定となる γ の値は, PΔ 効果の有無に関わらず, V_{dm} が 1.5 m/s のときは 1.2, V_{dm} が 2.25 m/s のときは 1.4, V_{dm} が 3.0 m/s のときは 1.5 程度である。

以上述べてきたように, PΔ 効果を見無視すると, 柱梁耐力比の影響が小さくなる。このことは, γ が小さいときに, PΔ 効果の影響を大きく受け, 最大層間変位角が減少するためである。このように, 最大層間変位角の一樣化に対する柱梁耐力比の影響は, PΔ 効果の有無によって左右されることから, 解析では PΔ 効果を考慮することが望ましい。

* 熊本大学大学院自然科学研究科 大学院生

** 熊本大学工学部 教授 工博

* Graduate School of Science and Technology, Kumamoto Univ.

** Prof., Faculty of Eng., Kumamoto Univ., Dr.Eng.