

I - B 200

鋼製橋脚の幾何学的非線形の影響

長 大 正会員 ○深谷茂広
長 大 刑部清次

阪神高速道路公団 正会員 徳永法夫

1. はじめに

平成8年12月に道路橋示方書が改訂され、発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動に対して、材料の非線形領域まで考慮した橋脚の設計が実施されている。その際、上部構造の慣性力作用位置で大きな水平変位が生じ、鉛直荷重 N と水平変位 δ により橋脚基部には付加曲げモーメント（ $N \cdot \delta$ ）が作用することとなる。（ $N - \delta$ 効果と略す）

都市高速道路の鋼製橋脚は橋脚高さが高いため、 $N - \delta$ 効果が大きいことが予想され、幾何学的非線形の影響を把握する必要があると思われる。本報告では、鋼製橋脚に着目し、幾何学的非線形が終局荷重に与える影響を検討した。

2. 検討橋脚の選定

検討対象橋脚は、海岸線に位置する都市高速道路の橋脚で、代表的な橋脚形状のラーメン橋脚を選定した。また幾何学的非線形の影響は、橋脚高さ、作用軸力の2つ要因が支配的であると考え、検討対象橋脚の解析はその2点について着目した。図-1では、橋脚高さとの関係を示す。対象路線の橋脚高さは、9m～29mの間に広く分布している。そこで、検討対象橋脚には10m～28mまでの回帰曲線上に近い5基を選定した。（P1橋脚 $h=11.6$ m、P2橋脚 $h=17.7$ m、P3橋脚 $h=21.5$ m、P4橋脚 $h=27.0$ m、P5橋脚 $h=28.9$ m）

3. 解析方法および解析結果

橋脚のモデル化に際しては、橋脚高さによる幾何学的非線形の影響を把握するため、制御断面位置を柱基部に固定した。解析モデルは、橋軸方向に地震慣性力を受ける場合を想定して、片側の橋脚に着目した1本柱モデルとした。また、橋脚基部はコンクリートが充填されているため、コンクリートを有効断面としたトリリニア $M - \phi$ 関係を用いて非弾性梁要素でモデル化し、他の部材は鋼断面の弾性梁とした。解析モデルを図-2に示す。

対象橋脚に対し、幾何学的非線形を考慮する場合と考慮しない場合についてPush-over解析を行った。なお、解析においては鉛直力を一定とし、橋脚天端に漸増な変位を与えた。

解析結果から得られたP5橋脚の水平荷重-水平変位曲線を図-3に示す。図から分かるように、幾何学的非線形を考慮する場合は、水平変位の増加に伴い鉛直力によって生じた付加曲げモーメントが大きくなり、水平荷重は幾何学的非線形を考慮しない場合より小さくなった。

表-1には、橋脚の終局水平耐力と終局水平変位を示した。なお、 P_{um} と P_{ug} はそれぞれ幾何学的非線形を考慮しない場合と考慮する場合の終局水平耐力である。表-1から幾何学的非線形を考慮する場合と考慮しない場合の終局水平耐力の差は約2%から11%であった。

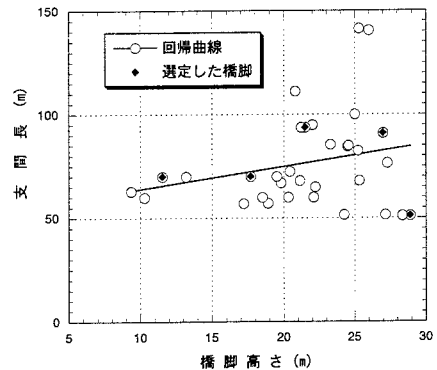


図-1 検討対象橋脚の高さ分布

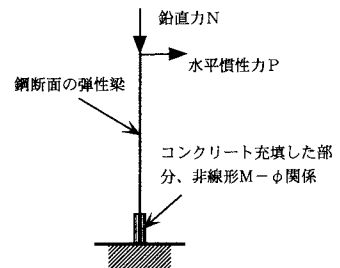


図-2 解析モデル

キーワード
連絡先

鋼製橋脚、コンクリート充填、Push-over解析、幾何学的非線形、 $M - \phi$ 関係
〒305-0821 茨城県つくば市春日3-22-6

電話：0298-55-3113 FAX：0298-52-8545

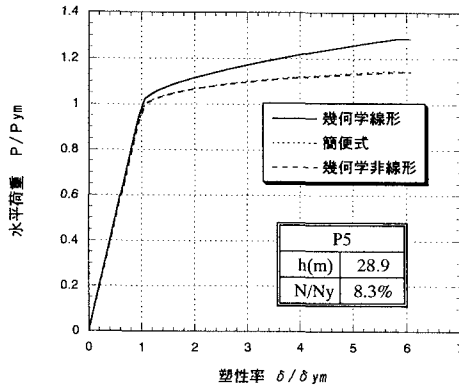


図-3 P1橋脚の水平荷重－水平変位曲線

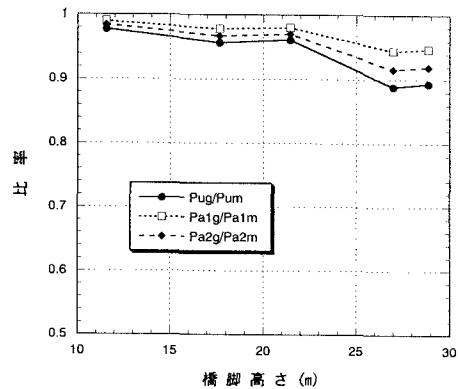


図-4 橋脚の高さにおける幾何学的非線形の影響

表1 対象とした橋脚の終局水平耐力

対象橋脚	h (m)	N (tf)	N/Ny	$\frac{P_{ug}}{P_{um}}$	$\frac{P_{umg}}{P_{ug}}$	$\frac{P_{a1g}}{P_{a1m}}$	$\frac{P_{a2g}}{P_{a2m}}$	$\frac{\delta_{a1g}}{\delta_{a1m}}$	$\frac{\delta_{a2g}}{\delta_{a2m}}$	$\frac{\delta_{ug}}{\delta_{um}}$	$\frac{\delta_{um}}{\delta_{ym}}$
P1	11.6	1181.3	10.3%	0.98	1.01	0.99	0.98	1.02	1.02	1.03	5.16
P2	17.7	1213.7	9.2%	0.96	1.01	0.98	0.97	1.02	1.02	1.02	4.55
P3	21.5	1292.2	6.9%	0.96	1.01	0.98	0.97	1.01	1.01	1.01	4.84
P4	27.0	1422.2	8.3%	0.89	1.00	0.94	0.92	1.03	1.04	1.04	4.98
P5	28.9	832.3	8.2%	0.89	1.00	0.95	0.92	1.03	1.04	1.04	5.55

a1 : タイプⅠの地震動に対する許容値
a2 : タイプⅡの地震動に対する許容値

g : 幾何学非線形を考慮した場合を示す
m : 幾何学非線形を考慮しない場合を示す

また、 P_{umg} は、幾何学的非線形を（式－１）で簡便に考慮した終局水平耐力である。 P_{umg}/P_{ug} の値は1.003から1.01であり、簡便式は十分な精度で幾何学的非線形の影響を考慮することができることもわかった。

$$P_{umg} = P_{um} - N \cdot \delta_u / h \quad (\text{式－１})$$

$Pa1g/Pa1m$ と $Pa2g/Pa2m$ はタイプⅠとタイプⅡの地震動に対する地震時保有水平耐力 $Pa1$ と $Pa2$ に生じる幾何学的非線形の影響度を示している。橋脚高さが25m以上の場合には、幾何学的非線形性がタイプⅠとタイプⅡの地震動に対する地震時保有水平耐力に与える影響は5%から8%である。

図-4に P_{ug}/P_{um} と橋脚高さの関係を示す。図-4より検討対象とした橋脚において高さ h が大きくなると P_{ug}/P_{um} の値が小さくなる傾向が明確に確認できる。しかし、P2橋脚とP3橋脚の間、またP4橋脚とP5橋脚の間で幾何学的非線形の割合が逆転した傾向が見られる。これは、鉛直荷重がP3橋脚よりP2橋脚の方が、P5橋脚よりP4橋脚の方が大きいためであると考えられる。

4. まとめ

都市高速道路の実在する橋脚を対象としたPush-over解析により、幾何学的非線形が終局水平荷重および変位に与える影響を調査した結果、次のことが明らかになった。

- 1) 橋脚の高さが25mを越えると、幾何学的非線形の影響により終局水平荷重が10%程度減低下する。
- 2) 幾何学的非線形の影響が終局水平変位に与える影響は、最大2%程度であり無視できる。
- 3) 簡便法（式－１）により、十分な精度で幾何学的非線形の影響による終局水平耐力の低下を評価できる。

参考文献

- 1) 高橋雅裕、矢部正明：P－Δ効果が橋脚の水平力－水平変位関係に与える影響、第2回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム、pp277～286、1998.12
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編、1996.12