

関西大学工学部 正会員 堂垣正博
 関西大学大学院 学生員 ○山本優也
 鳥取大学工学部 正会員 白木 渡

1. まえがき

現在、諸外国の設計規準は、部材の安全性照査に基づく許容応力度設計法から構造系全体の安全性照査に基づく限界状態設計法へと移行し、着実に整備されつつある。一方、わが国の道路橋示方書¹⁾には、鋼製ラーメン橋脚のような鋼構造の設計に対して、依然として、許容応力度設計法に基づいた設計規準が提示されているにすぎない。

記憶に新しい兵庫県南部地震では、多くの鋼製橋脚にかなりの被害が発生した。しかし、マグニチュードが7.2クラスの激震時にも、交通網やライフライン施設はその機能を発揮し、構造物に多少の損傷は許容しても崩壊にまで至らないだけの十分な耐力が要求されるようになっている。それゆえ、構造物の崩壊荷重と崩壊メカニズムを勘案した構造系全体に対する設計規準の早期確立が望まれる。

本研究では、構造系全体の安全性照査を目指し、鋼構造の終局強度と崩壊メカニズムの関係を理論的に検討するもので、ここでは特に、初期不整を有する鋼製の一層門形ラーメン橋脚に注目する。

2. 解析対象の一層門形ラーメン橋脚と作用荷重

図-1に示すように、基部が固定され、橋脚の間隔が l 、高さが h の一層門形ラーメン鋼製橋脚を対象に、上部工の死荷重に相当する荷重 P が両隅角部からはり中央に向かって a の距離に、かつ地震荷重に相当する水平荷重 H が左側の柱頂に作用する場合の弾塑性有限変位挙動、終局強度、および、その崩壊メカニズムを明らかにする。

門形ラーメンの柱とはりは、いずれも無補剛箱形断面からなり、柱におけるフランジの幅と厚さが b_{cf} 、 t_{cf} 、腹板

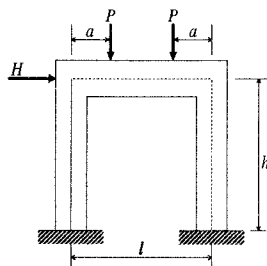


図-1 一層門形ラーメン鋼製橋脚

の幅と厚さが b_{cw} 、 t_{cw} 、はりにおけるフランジの幅と厚さが b_{bf} 、 t_{bf} 、腹板の幅と厚さが b_{bw} 、 t_{bw} である。また、柱には残留応力と初期たわみが、はりには残留応力がそれぞれ存在しているものとする。ただし、圧縮残留応力は $0.2\sigma_s$ 、初期たわみの最大値は $h/1000$ とした。なお、ラーメン隅角部は十分な補強が施されており、柱やはりよりも先に崩壊するようなことはないものとした。また、鋼種はSM490Yとし、その降伏点応力は $\sigma_s=3,600\text{kgf/cm}^2$ 、ヤング率は $E=2.1 \times 10^6\text{kgf/cm}^2$ である。

3. 平面骨組構造の有限要素の定式化

一層門形ラーメン鋼製橋脚の弾塑性有限変位挙動を有限要素法で明らかにするため、その定式化を行う。有限要素の定式化にあたり、以下の仮定を設ける。すなわち、①骨組を構成する柱とはりはそれぞれ等断面からなる。②柱とはりに局部座屈は生じない。③部材は、Bernoulli-Eulerの平面保持の仮定に従う。④鋼材の応力とひずみは、ひずみ硬化を加味したbi-linearな関係にある。

変形後の座標を基準とするUp-dated Lagrangian手法に従って、平面骨組の弾塑性有限変位理論に基づいた有限要素の定式化を行うと、構造系全体の剛性方程式が

$$[K]\{\Delta u\} = \{\Delta f\} + \{f_n\} - \{r\} \quad (1)$$

のように得られる。ここに、

$[K]$: 構造系全体の剛性マトリックス

$\{\Delta u\}$: 増分変位ベクトル

$\{\Delta f\}$: 増分節点力ベクトル

$\{f_n\} - \{r\}$: 不平衡節点力ベクトル

である。

式(1)は多元連立の非線形代数方程式で、ここではNewton-Raphson法で解く。

4. 数値解析結果とその考察

広範な数値解析の前に、有限要素解の精度を検討した結果、柱およびはり部材軸方向にそれぞれ50、40分割、お

よびそれらの断面を 160 分割すればよいことが分かった。

一層門形ラーメン鋼製橋脚の終局強度と崩壊メカニズムを明らかにするため、はりとの柱の長さの比、すなわち、門形の形状が $l/h=0.6, 1.0, 1.4$ で、鉛直荷重が橋脚の直上に作用するラーメン橋脚を解析の対象とした。

様々なはりとの柱の剛比 ($K=I_b/I_c h$) に対し、水平荷重 H とそれが作用する点における水平変位との関係、塑性ヒンジの形成順序、および、塑性崩壊メカニズムを求めれば、図-2 の(a), (b), (c)を得る。ただし、柱は正方形断面で、それに対するはりの腹板高を 0.6, 1.0, 1.4, 1.8 と変化させ、柱の修正細長比 $\bar{\lambda}=0.2$ 、ならびに、柱とはりにおけるフランジと腹板の幅厚比はいずれも 35 の場合を解析した。図中、縦軸と横軸はそれぞれラーメン橋脚の水平耐力 Q_u で無次元化された柱頂に作用する水平力 H と、骨組高さ h で無次元化された柱頂の水平変位 u を示す。また、曲線上の○印は塑性ヒンジが形成された時点を表し、その数値はラーメンの基部と隅角部を示す。ちなみに、構造物の崩壊メカニズムは上部構造、さらには、橋梁自体の挙動をも左右するもので、ラーメン橋脚は橋梁を支える極めて重要な構造要素である。

図から明らかなように、はりとの柱の剛比 K によって、門形ラーメン橋脚の崩壊荷重および塑性ヒンジの形成順序がかなり異なる。また、剛比が小さくなれば、すなわち、柱に比べてはりが弱くなれば、ラーメン橋脚の耐力が著しく低下することが分かる。

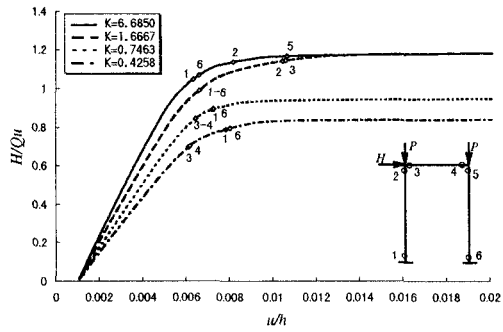
以上に示した解析結果では、いずれの場合も柱の基部に塑性ヒンジが形成され、橋軸直角方向に不安定な構造となり、崩壊の危険性が高いメカニズムが得られた。構造系全体の安全性を高めるためには、柱の基部が崩壊しないようなメカニズムを形成させる必要がある。

5. あとがき

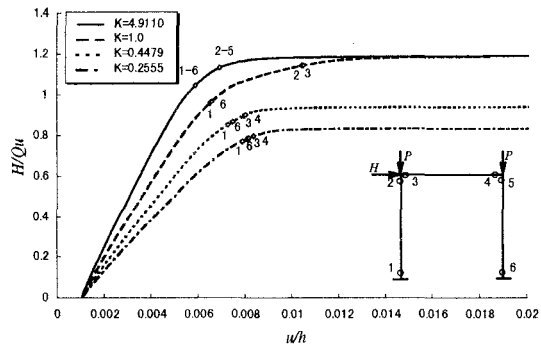
一層門形ラーメン鋼製橋脚に一定の鉛直荷重と漸増の水平力が同時に作用する場合、その終局強度および崩壊メカニズムを有限要素法によって解析的に明らかにした。

柱の頂部に一定の鉛直荷重と水平荷重が作用する場合、はりとの柱の剛比によって崩壊荷重と崩壊メカニズムはかなり異なることが分かった。鉛直荷重がはりの中央部に作用するようになれば、柱への付加的な曲げがさらに強く働くようになるので、その変形挙動や崩壊メカニズムもかなり変化するであろう。

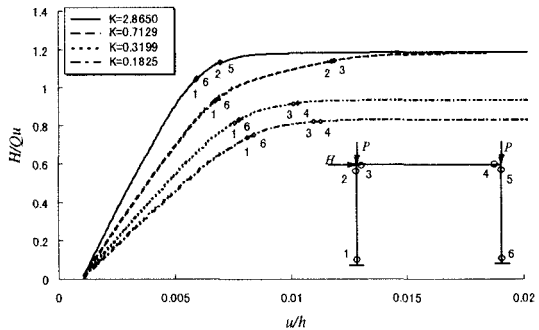
この他の解析結果は、講演会当日に詳細に述べる。



(a) $l/h=0.6$



(b) $l/h=1.0$



(c) $l/h=1.4$

図-2 一層門形ラーメン橋脚の荷重-変位曲線

参考文献

- 1) 日本道路協会編：道路橋示方書・同解説、丸善、1994-2.
- 2) 中井・河井・吉川・北田・酒造：鋼製ラーメン橋脚の実績調査（上）、Vol.82, No.6, pp.35-40, 1982-6.