

大阪市立大学工学部 正 員 北田俊行 大阪市立大学工学部 正 員 中井 博
 大阪市立大学大学院 学生員○水越牧郎 日本構研情報(株) 正 員 狩野正人

1. まえがき 本研究では、二層一径間の鋼製ラーメン橋脚に地震荷重が静的に作用する解析モデルを作成して、その下層の横梁中央の腹板、柱部材の下端部、あるいはラーメン隅角部に局部座屈が発生したときの耐荷力と、変形性能とに着目し、弾塑性有限変位解析を行った。そして、この種の地震荷重下における弾塑性有限変位問題の解析法を、検討した。なお、解析には、局部座屈と全体座屈との連成挙動がシミュレートできる解析プログラムEPASS Plus¹⁾を用いた。

2. 解析モデル 解析は、図-1に示すように、兵庫県南部地震により、下層の横梁中央の腹板にせん断座屈損傷が発生した二層門型の薄肉鋼製ラーメン橋脚を対象として行った。まず、橋脚全体を骨組構造物とみなして、弾塑性箱形断面梁・柱要素でモデル化したものを解析モデル1とした。それを、図-2(a)に示す。つぎに、同図(b)に示すように、この地震によって、せん断座屈損傷が発生した下層の横梁中央の腹板を含む箱桁部分に対し、局部座屈が考慮できる板要素からなるUSSPブロックでモデル化したものを、解析モデル2とした。また、下層の橋梁の支承が崩壊しなければ、局部座屈が発生した可能性があると考えられる橋脚の基部付近に対してUSSPブロックでモデル化した同図(c)に示すものを、解析モデル3とした。ただし、使用したコンピュータの演算容量の制約のため、両脚柱の基部までもUSSPブロックでモデル化することができなかった。そこで、各脚柱基部を、それぞれ別個にUSSPブロックでモデル化した。

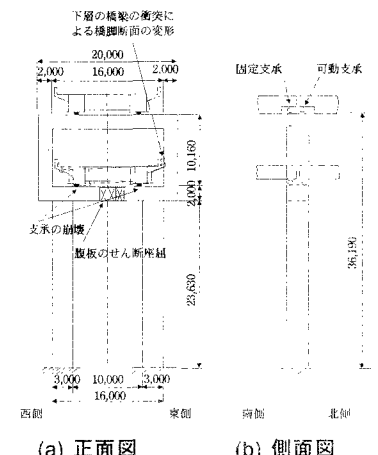
そして、これらの2ケースを、それぞれ解析モデル3-1、および解析モデル3-2とした。最後に、隅角部をUSSPブロックでモデル化した同図(d)に示すものを、解析モデル4とした。なお、このモデルのUSSPブロックでは、局部座屈を発生しやすくするため、補剛材がないものとした。

ところで、設計地震荷重は震度法で求められており、その際の設計震度 k_h は以下のとおり

りにとった。すなわち、上部構造では $k_h=0.3$ 、また橋脚においては $k_h=0.24$ とみなした。そして、死荷重 D を載荷したのち、地震荷重 $E_q(=k_h \cdot D)$ に荷重パラメータ α を乗じた漸増荷重(αE_q)を載荷し、弾塑性有限変位解析を行った。

なお、初期不整としては、USSPブロックで初期たわみ、および残留応力を、それ以外の骨組部材で残留応力のみを考慮した。USSPブロックではひずみ硬化率10%を考慮している。

3. 解析結果とその考察 図-3には、荷重パラメータ α と隅角部の節点37における橋軸直角方向水平変位との関係を示す。この図によると、解析モデル1、および4では、荷重パラメータ α が、それぞれ2.70、および2.69に至り終局限界状態に達した。また、解析モデル2、3-1、および3-2の場合、荷重パラメータ α がそれぞれ2.59、2.64、および2.58になると収束解が得られず、演算が終了した。これらは、板要素で構成されたUSSPブ



(a) 正面図 (b) 側面図
 図-1 対象とした二層門型の薄肉鋼製ラーメン橋脚 (寸法単位: mm)

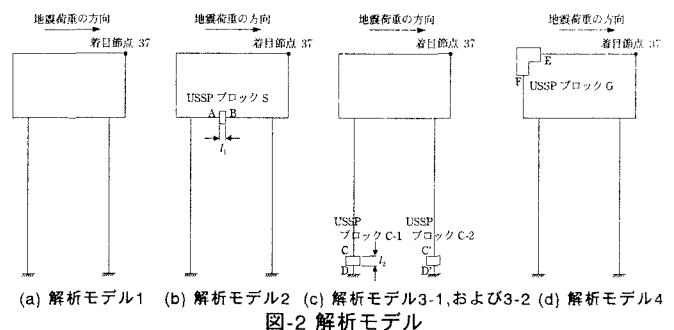


図-2 解析モデル

ックが終局限界状態に至ったためであると考えられる。しかし、本研究で対象とする二層ラーメン橋脚の解析結果によると、は、USSPブロックが局部座屈を起こしたとしても、終局限界状態に至るまでの荷重レベルにおけるUSSPブロックの剛性、および強度の変化がラーメン橋脚全体の剛性、および強度に及ぼす影響は、小さいことがわかった。

図-4には、USSPブロックSのせん断力-せん断ひずみ曲線を示している。この図によると、USSPブロックSの終局せん断力 S_u は、ひずみ硬化の効果によって全塑性せん断力 S_p^* を上回っていることがわかる。そして、図-5には、一例としてUSSPブロックSの変形図、および弾塑性領域図を示している。同図(a)によると、腹板の水平補剛材と下フランジとに挟まれた板パネルが、せん断座屈している。また、同図(b)から、腹板のほぼ全領域に弾塑性化が起り、両フランジにおいてもかなりの領域が塑性化しており、全塑性状態に近い状態に達していることがわかる。

また、図-6には、USSPブロックC-1、およびC-2のインタフェース節点D(D')における曲げモーメント-回転角曲線を示している。ここで、 M_{pE1} 、および M_{pE2} は、それぞれ収束解が得られなくなった荷重レベルにおける軸方向力を考慮したときの全塑性曲げモーメントの値である。

USSPブロックC-1、およびC-2では、それぞれ終局曲げモーメントが一定値の $M_{u1}/M_{pE1}=0.94$ 、および $M_{u2}/M_{pE2}=0.96$ に至ると、ほぼ全断面が降伏状態になっている。しかし、USSPブロックC-2においては、最大曲げモーメントに相当する終局曲げモーメントが発生している。その後、局部座屈に起因して強度は、低下してゆく現象が認められる。

以上の解析結果によると、EPASS Plusを用いた解析を行えば、USSPブロックが終局限界状態に至るまでの対象構造物全体の弾塑性有限変位挙動が、シミュレートできる。しかし、USSPブロックが終局限界状態に至り、その後の不安定領域に入ると、対象構造物全体の挙動は、シミュレートできなくなることがわかった。

4. まとめ (1) 横梁のせん断座屈、あるいは橋脚基部の局部座屈とラーメン橋脚の全体座屈との連成を考慮した解析によれば、局部座屈を考慮したUSSPブロックが終局限界状態に達すると、構造物全体の収束解は、得られなくなることがわかった。(2) 不静定構造物の場合は、構造物の一部が終局限界状態に達しても、応力の再配分の発生が考えられる。したがって、不静定次数の数に応じて、USSPブロックでモデル化する部分の数を、増やすことが不可欠であることがわかった。

(3) 今後、連成座屈現象の合理的で効率のよい解析法を構築するためには、ラーメン橋脚だけでなく、その他の橋梁構造物、たとえばアーチ橋のアーチ・リブなどについても、EPASS Plusによる解析を数多く行ってみる必要がある。

参考文献

- 1) 北田俊行，丹生光則，狩野正人，山野敏郎：有限要素法による局部座屈と全体座屈との連成座屈を考慮した薄肉骨組構造物の弾塑性有限変位解析，計算工学講演会論文集，Vol.2，計算工学会，pp.925～928，1997年5月。

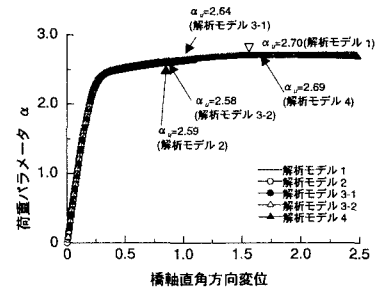


図-3 荷重パラメータ-橋軸直角方向変位曲線

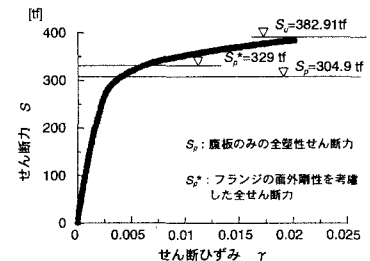
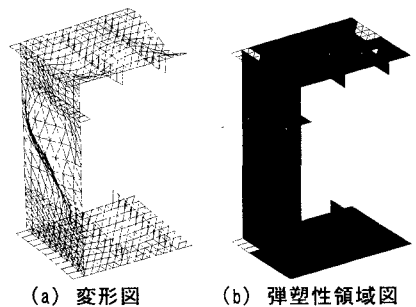


図-4 せん断力-せん断ひずみ曲線



(a) 変形図 (b) 弾塑性領域図
図-5 USSPブロックSの変形図、および弾塑性領域図

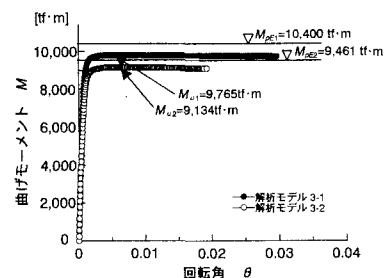


図-6 曲げモーメント-回転角曲線