

神戸大学工学部 フェロー 高田 至郎
 高田機工 正会員 宝角 正明
 神戸大学大学院 学生員 ○真井 哲生

1. はじめに 高レベル地震力をアーチ橋が受けた場合の挙動については未だ不明瞭な点が多い¹⁾。本研究は、鋼上路式ローゼ橋の地震応答解析を行い、その地震応答特性を明らかにすることを目的とする。なお、地震時に車両や人が直接通行する補剛桁部分が先に破壊することは、人的被害が甚大になる可能性があり、鉄筋コンクリート床版と一体化している実際の補剛桁の終局耐力はかなりあると考えられる。したがって、本研究において補剛桁は大地震が作用したときでも弾性領域にあるとし、おもにアーチリブの特性を研究する。

2. 解析対象橋梁および解析モデル 解析対象橋梁は、有効幅員 9.5m、橋長 190m、アーチ支間長 130m、アーチライズ 25m の鋼上路式ローゼ橋とし、地盤は I 種地盤とする。図-1 にその正面図を示す。

3. 解析モデルと地震応答 本研究ではまず解析対象橋梁をはり要素を用いて立体骨組みモデルとしてモデル化する。補剛桁の支持条件は一般的に考えられる①両端が可動支承の場合、②一端が固定支承で他端が可動支承の場合、③両端が反力分散支承の場合の 3 種類を考える。この中から、応答スペクトル解析によって、もっとも地震に有利な構造系を同定し、それを最終的な解析対象橋梁とする。この解析対象橋梁が大地震作用時にどの部材が塑性化するかを線形時刻歴解析により推定し、その後、塑性化する可能性がある部材に非線形性を与え非線形時刻歴解析を行う。

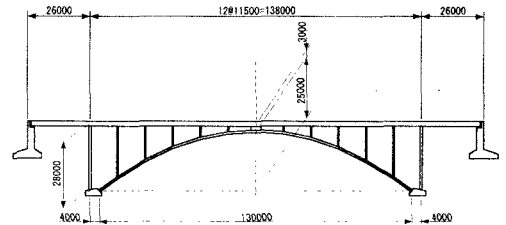


図-1 解析対象橋梁

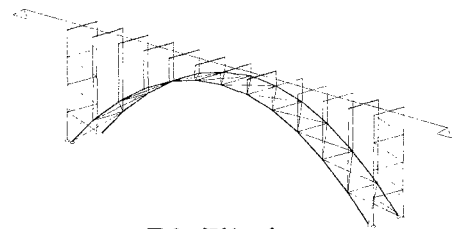


図-2 解析モデル

応答スペクトル解析：解析対象橋梁を 167 個のはり要素で床版を含む補剛桁、アーチリブ、吊材、端柱を表現し、モデル化した。その形状を図-2 に示す。床版を含む補剛桁は、ねじり剛性を持つひとつのはり要素とし、質量は補剛桁のみにあるものとした。減衰定数は 0.02 とした。構造諸元を表-1 に示す。なお、ねじり剛性は補剛桁に取り付けられている横構を薄肉の板に換算し、床版と補剛桁と横構を等価な擬似箱桁に変換し推定した。応答スペクトル解析により、部材の最大断面力を算出した。なお、応答スペクトルは道路橋示方書耐震設計編²⁾で規定されている地震時保有水平耐力法の照査に用いるタイプ I およびタイプ II の加速度応答スペクトルを使用し、橋軸方向に作用させた。各モデルの最大断面力を図-3 に示す。これより補剛桁の支持条件①、③の場合、最大断面力はほぼ同じであることがわかり、一般的な反力分散支承ではバネ定数が小さいため地震動に対する効果は少ないといえる。また、慣性力に対して抵抗する箇所が多い一端固定の構造系が地震に有利な構造系といえる。したがって、補剛桁が一端固定の支持条件である構造系を最終的な解析対象橋梁とする。

表-1 構造諸元

要素番号	断面積 m ²	断面2次モーメント (1軸回り)m ⁴	断面2次モーメント (2軸回り)m ⁴	ねじり剛性 m ⁴
(補剛桁)				
1~5,18~22	0.354	0.315	5	0.096
6,7,16,17	0.352	0.312	4.99	0.0749
8~15	0.265	0.214	0.034	0.0738
106~118,206~218	0.8	0.6	10	0.2
(端柱)				
301~308,401~408	0.0486	0	0	0
309~319,409~419	0.01	0	0	0
(吊材)				
501,511,512,522	0.023	0	0	0
502,503,509,510	0.02	0	0	0
504,505,507,508	0.019	0	0	0
513,514,520,521	0.2	0	0	0
515,518,518,519	0.019	0	0	0
(アーチクラウン部)				
506,517	0.2	100000	100000	100000
(アーチリブ)				
601,602,611~614,623,624	0.0718	0.0208	0.00928	0.0187
603~605, 608~610	0.0728	0.0204	0.00965	0.0189
606,607,618,619	0.07	0.0199	0.00916	0.0182
615~617,620~622	0.0728	0.0204	0.00965	0.0189
(横構)				
701~735	0.01	0	0	0
ヤング係数(N/mm ²)				2.0×10 ⁴
せん断弾性係数(N/mm ²)				8.0×10 ³

注)1軸は部材軸と垂直で水平な方向、2軸は部材軸と1軸と右手系をなす方向

線形時刻歴解析：大地震によって塑性化する部材の推定を行う。地震力としてタイプII地震である兵庫県南部地震（神戸海洋気象台地盤上）の地震波を30秒間橋軸方向と、橋軸直角方向に入力する。このとき生じる各部材の軸力と曲げモーメントを重ね合わせて算出した断面応力度により塑性化する可能性のある部材の推定を行う。部材の使用鋼種はSM400であり基準降伏点は 235N/mm^2 である。応力度が 235N/mm^2 以上になる場合、その部材は塑性化する可能性があるとする。結果を図-4、表-2に示す。橋軸直角方向に地震力が作用した場合はアーチリブの根元部分の応力度が大きくなり、アーチリブは橋軸直角方向の地震力から大きな影響を受けることがわかる。この部分が塑性化する可能性がある。

非線形時刻歴解析：塑性化する可能性がある部分を図-5に示すように弾塑性シェル要素で置換し、橋軸直角方向に地震力が作用させ解析を行う。なお、線形時刻歴解析で用いた地震波ではわずかな部分しか塑性化しないため、線形時刻歴解析とほぼ同じ結果となった。そこで、非線形特性をみるため1.5倍の地震波を橋軸直角方向に入力する。図-6に最大応力度発生時の塑性化しているシェル要素部分を示す。色が薄いところが塑性化している個所である。また、図-7に応答変位（変位はアーチリブの支点との相対変位）を示す。塑性化は地震波入力後約6秒でアーチリブの根元部分で発生している。塑性化は徐々に上部に広がっていくが、根元部分に集中している。アーチクラウン付近の応答は塑性化が始まってから小さくなっている。これは塑性化した部分がエネルギーを吸収し、アーチリブの上部に伝わる力を低減しているためだと思われる。

4.まとめ 本研究で明らかになった事項を示す。(1)補剛桁の支持条件が両端可動、一端固定、反力分散支承の中で地震にもっとも有利な構造系は、慣性力に対して抵抗する箇所が多い一端固定の構造系である。(2)大地震が橋軸直角方向に作用した場合はアーチリブの根元に変形が集中し、塑性化する。(3)塑性化した部分が地震力のエネルギーを吸収してアーチクラウン付近の応答を減衰させる。(4)従来の手法で設計された鋼上路式ローゼ橋は、兵庫県南部地震レベルの地震でもほとんどの部材が塑性化せず、弾性領域のままであり、安全側すぎる設計と考えられる。

【参考文献】

- 1) 次世代土木鋼構造研究特別委員会：橋梁システムの動的解析と耐震性，日本鋼構造協会，2000.3
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書(V耐震設計編)・同解説，1996.12

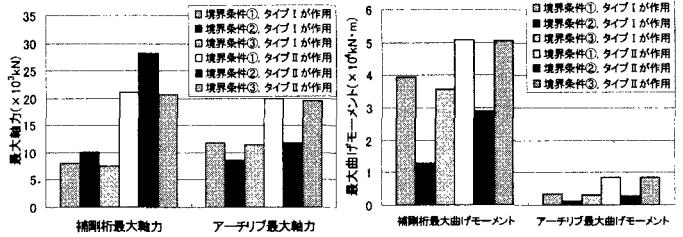


図-3 解析モデルに与える条件

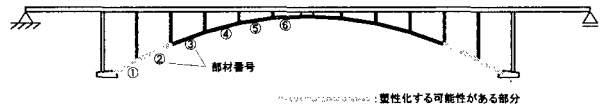


図-4 塑性化する可能性がある部材

表-2 最大応力度

最大応力度 N/mm ² (圧縮)	地震力の作用方向					
	部材①	部材②	部材③	部材④	部材⑤	部材⑥
橋軸方向	148.3	142.0	135.4	140.5	144.1	200.5
橋軸直角方向	266.0	272.4	230.5	147.8	117.6	179.1

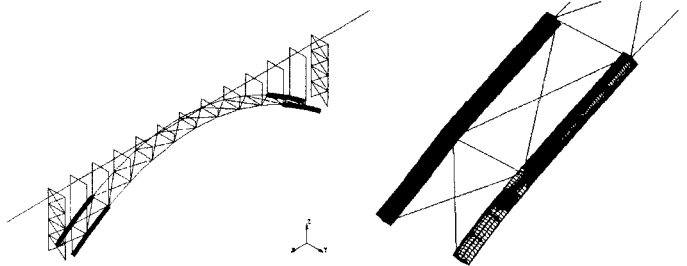


図-5 弾塑性シェル要素を導入したモデル

図-6 シェル要素の塑性化

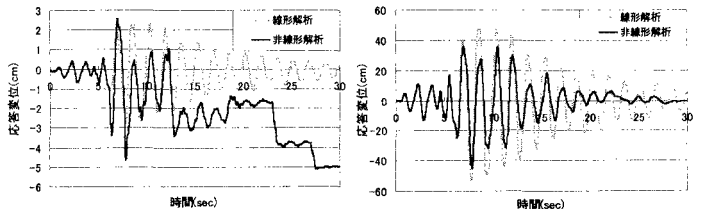


図-7 アーチ根元部分(左)とアーチクラウン部分(右)の応答変位