

1995 年兵庫県南部地震における支承の損傷によるヒューズ効果

日本学術振興会特別研究員 PD 正会員 阿部哲子
東京大学工学系研究科 フェロー 藤野陽三 正会員 阿部雅人

1. まえがき 著者らは、1995 年兵庫県南部地震において被災した阪神高速神戸線に着目した分析を行い、橋脚番号 P35～350 における RC 単柱は一貫して大きな被害を受けたと見なせることを示した¹⁾。しかし、例外的に被害の小さいものも存在しており、それらに関しては支承の損傷がヒューズ的な効果をもたらしたと推定されるケースが多いこと、特に、連続桁構造部の固定支承下の橋脚においてこの現象が顕著であることを指摘している。そこで、本研究では、連続桁構造部を対象に、支承の損傷がヒューズ的に働く現象の再現を目指した。

2. 解析対象 解析対象としたのは、P268-271 で構成される 3 径間連続桁部である。このユニットでは、固定支承が破断し、固定支承下の橋脚 (P270) の被害が軽微となっている (図 1)。図 2 は、文献 2) の手法を参考に求めた P270 上の支承の水平荷重－水平変位関係を、橋脚の耐力と比較して示したものであり、橋軸方向には橋脚の方が弱く、橋軸直角方向には支承の方が弱いことがわかる。よって、P270 橋脚が橋軸方向にせん断破壊を起こさないためには、それ以前に支承が橋軸直角方向の力によって破壊する必要があると考えられる。

3. 橋梁システムのモデル化 支承の損傷に伴うヒューズ効果を再現するためには、支承の損傷をも考慮した動的な解析が必要となる。そこで、既往の解析ツール COM3 の拡張として、図 3 に示す支承モデルを組み込んだ。このモデルは、文献 3) における実験結果を参考に構築したものであり、(a) は固定支承および可動支承の橋軸直角方向に対する並進方向のモデル、(b) は可動支承の橋軸方向に対する並進方向のモデルである。図中、 d_0, d_y, d_u はそれぞれ部材間のすきまによる「がた」(または移動制限装置に接触するまでの変位)、降伏変位、破断変位を、また、 F_0, F_y, F_u, F_l はそれぞれ「がた」内を移動する時の摩擦力 (または移動制限装置に接触するまでの摩擦力)、降伏耐力、破断耐力、破断後の伝達力を示す。ここで、 F_0, F_l はそれぞれ、摩擦係数 $\mu_0 \times$ 死荷重反力、摩擦係数 $\mu_l \times$ 死荷重反力で表され则认为した。金属支承は、その構造から、橋軸または橋軸直角の一方向に部材の破断がおこると、もう一方向へも荷重の伝達機能を失うと考えられる。本モデルでは、どちらか一方向に破断耐力を超え、伝達荷重が F_l に等しくなった時点で、もう一方向への伝達荷重も F_l になるとした。

解析モデルは、図 4 に示す形とした。隣接径間は 1/2 スパン分を乗せ、解析時に橋軸方向については質量マトリクスを 2 倍することで、特性を表現している。なお、連続桁部は 2 主桁であったのに対し、隣接桁は 6 主桁であったが、ここではモデルを単純化するため橋脚中心まわりの慣性モーメントが等しい 2 主桁に変換した。

4. 解析結果 動的応答解析の入力としては、神戸海洋気象台波を路線の方向 (東西－南北に対して 29 度の傾き) に分解したものをを用い、解析ケースは、「支承を非破壊とした場合」と「支承の破壊を考慮した場合」の 2 通りを設定した。ここで、支承を非破壊としたケースでは、可動支承の橋軸方向、固定支承および可動支承の橋軸直角方向のがた内は摩擦力のみを伝え、がた範囲を超えた後は降伏点までの剛性を常に保つものとした。図 5(a), (b) はそれぞれ、支承を非破壊とした場合および支承の破壊を考慮した場合の、P270 橋脚基部における橋軸方向の作用せん断力とせん断耐力の関係を示したものである。ここでは、解析結果に高周波成分のノイズが含まれたため、5Hz 以上の高周波成分はカットして示している。(a) に示した支承を非破壊とした場合では、4.1 秒付近をはじめ数回にわたって P270 橋脚への作用せん断力がせん断耐力をこえている。これに対し、(b) に示した支承の破壊を考慮したケースでは、作用せん断力はせん断耐力をこえていない。計算時間の都合上、4 秒付近までしか応答を求めていないが、(c) に示すように 3.6 秒付近で支承が橋軸直角方向に破断しており、これ以降は橋脚に大きな力は作用しない。よって、P270 橋脚は軽微な損傷にとどまると考えられる。この解析結果は実被害と極めて整合的である。

5. まとめ 以上から、対象としたユニットにおいて、支承の損傷がヒューズ的に作用する現象は起こり得たと言える。この結果は、当然、入力によって変化するものであるが、今後、支承の損傷によるヒューズ効果を有効に活用することにより、システムとして合理的な高架橋の耐震設計が実現される可能性は十分にあると考えられる。

謝辞 阪神公団の林、北沢、幸左氏他に高架橋被害についてご教示いただきました。記して謝意を表します。

参考文献 1) 阿部他：1995 年兵庫県南部地震による阪神高速高架橋の被害と 2,3 の分析, 土木学会論文集, No.612/I-46, pp.181-199, 1999.1. 2) 柳野他, 阿部雅人, 藤野陽三, 阿部哲子：1995 年兵庫県南部地震における 3 径間連続高架道路橋の被害分析, 第 10 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.2375-2378, 1998.11. 3) 宇佐美他：金属支承の終局挙動に関する実験的研究, 土木学会・地震工学委員会, 第 25 回地震工学研究発表会講演論文集, pp.909-912, 1999.7.

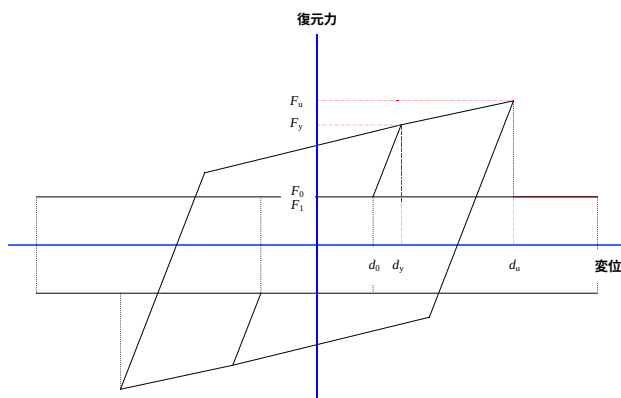


(a) P270 橋脚の損傷状況

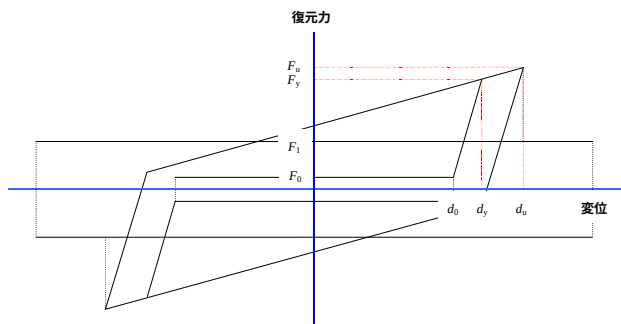


(b) P270 上におけるピン支承の損傷状況

図 1 P270 橋脚と P270 上のピン支承の損傷状況



(a) 固定支承, および可動支承の橋軸直角方向モデル



(b) 可動支承の橋軸方向モデル

図 3 支承のモデル化

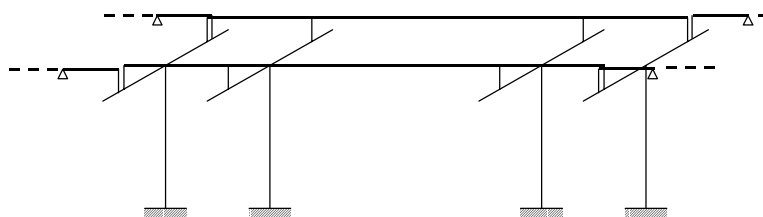
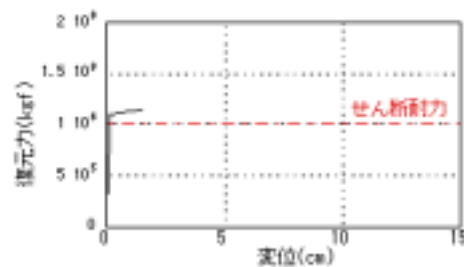
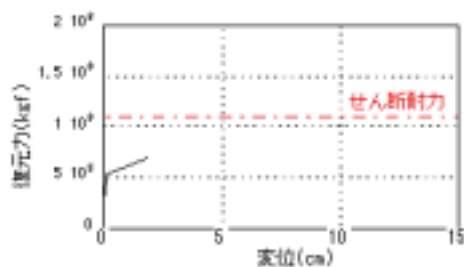


図 4 解析モデル

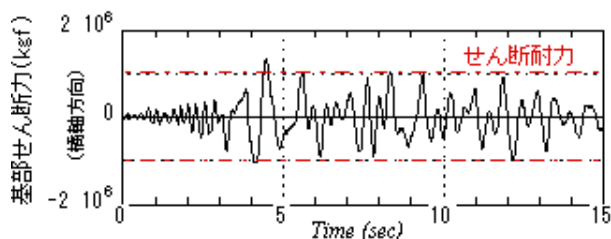


(a) 橋軸方向



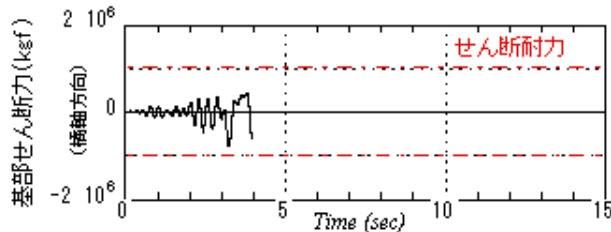
(b) 橋軸直角方向

図 2 P270 橋脚と P270 上のピン支承の耐力比較

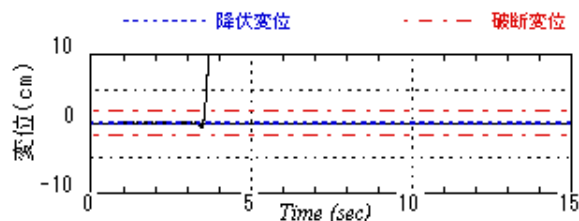


(a) 支承を非破壊とした場合の

P270 橋脚基部における橋軸方向のせん断力



(b) 支承の破壊を考慮した場合の P270 橋脚基部における橋軸方向のせん断力



(c) 支承の破壊を考慮した場合の P270 橋脚上ピン支承の橋軸直角方向変位

図 5 解析結果