

I-110 1991年4月テリーレ・リモン（コスタリカ）地震における鋼トラス橋の落橋原因と
杭基礎構造物の耐震性に関する研究

神奈川県 正会員 五十嵐 敬
埼玉大学工学部 正会員 渡辺 啓行

1. はじめに 杭基礎の地震時水平挙動については群杭効果など不明な点が多く残っており、現在その統一的な解法の確立が待たれ、模型実験や実例などによるデータの蓄積が必要とされている。今回、土木学会を中心とした調査団によるテリーレ・リモン（コスタリカ）地震（1991.4.22, $M_s=7.4$ ）における災害調査において斜杭を伴う群杭基礎構造を持つ鋼トラス橋の落橋と言う興味深い現象の詳細な情報を得る事ができた。本研究では落橋のメカニズムを解明し杭基礎構造物の耐震性について考察を加える事を目的とし、有限要素法による2次元有限要素法を用いた地震応答解析により落橋原因の詳細検討を行った。

2. 解析対象 対象は、震源より西北西に27km離れた地点に東西に架かる鋼トラス橋である。橋の縦断面と落橋概況を図1に示す。基礎は、勾配が1:5の斜杭を左右に持つ群杭構造となっており、杭全長は18mで河流方向に8列配置されている。橋脚、フーチングは鉄筋コンクリート製であり、杭は12インチのH型钢である。調査報告では、左岸側での液状化はなかったとされ、慣性力により落橋した可能性を示唆している。

3. 簡易法による予測 右岸部には可動支承があり、その中心と橋台の縁までの距離が20cmと推定される事から、これを落橋変位とし、道路橋示方書に基づく変位法より慣性力による中央橋脚頂部の水平変位を求めたところ、液状化により周囲の地盤がかなりの範囲において剛性を失うために中央橋脚に大きなたわみが生ずると予測された。

4. 詳細検討 解析には、2次元有限要素法を用い、地盤を平面ひずみ要素、杭及びフーチング、橋脚、橋桁を梁要素で離散化し、地盤と地中構造物との不連続面には2次元ジョイント要素を挿入した。解析モデルは、中央橋脚のたわみ性と東側トラスの落橋の関係を解明にするため橋の全景のはぼ右半分を図2のように要素分割した。落橋の判定は、右岸部の可動支承を滑り、剥離を考慮し

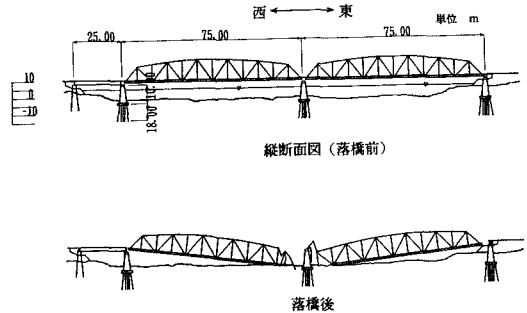


図1 縦断面図と落橋の概況

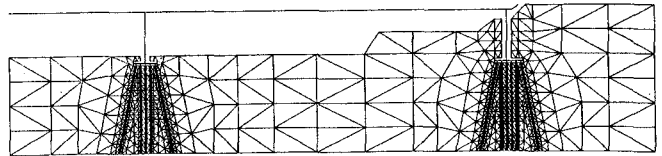


図2 要素分割図

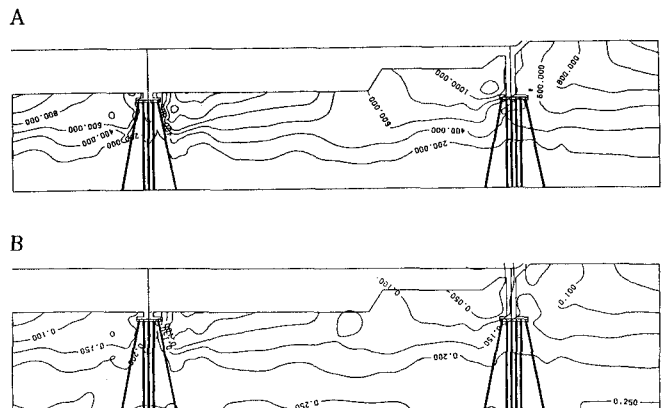


図3 等価線形化法による非線形物性分布
(A ; せん断剛性(kgf/cm²), B ; 減衰定数)

た2次元Y型ジョイント要素を挿入し橋桁と橋台の相対変位が落橋変位（20cm）に達するときとした。入力地震波は、サイトにおける実測波形がないことから、サイトに最も近い実測波（震央距離61km）のフーリエ

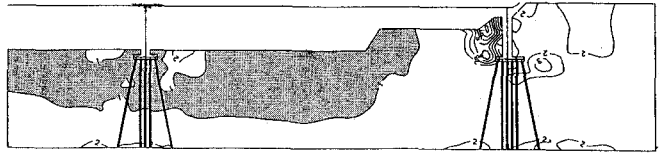


図4 液状化範囲

スペクトルによる卓越振動数がほぼ 2Hz であることを考慮して卓越振動数が 2.225Hz と比較的近い El Centro 波 NS 成分を用いた。入力モデル下面より 400gal で水平方向に加振した。また、地盤の非線形性を等価線形化法により考慮し（図3）、液状化の判定を行って液状化範囲を決定し、その剛性を低減させた（図4）。この時用いた物性はサイトの地盤情報がN値分布しかないため国生が求めた密な沖積砂の非線形物性をを用いた。

5. 解析結果 杭先端完全固定、杭と地盤との滑りがなしとし、地盤の非線形性、液状化による地盤剛性の低減を考慮した解析において橋桁と橋台の相対変位が 5cm 程度となり地盤の非線形性、液状化による影響はほとんど現れなかった。そのため、中央橋脚下の杭先端の固定条件をはずし、杭周りのジョイントによる弾性支持により解析を行ったところ、入力機構の変化によると考えられる相対変位の減少が認められただけであり、この場合にも地盤の非線形性、液状化による影響は現れなかった。これより、中央橋脚下の杭周りの摩擦力が地盤剛性の低減とともに低下することにより杭基礎構造が回転するために中央橋脚頂部の水平変位が増大すると考えられる。そこで、中央橋脚下の杭周りのジョイント要素の剛性を周辺地盤と同程度に低減させることにより杭と地盤との不連続面の非線形性を間接的に表現した解析を行ったところ、確かに杭先端でのもぐり込みや引き抜きが発生し、基礎構造自体が回転することにより相対変位は 12.75cm と増大したが、落橋変位には達しなかった。そこで、液状化により杭全長にわたり周摩擦力が低下していたと解析を行ったところ 40.35cm の相対変位が得られ、落橋にいたることが確かめられた（図5、6）。

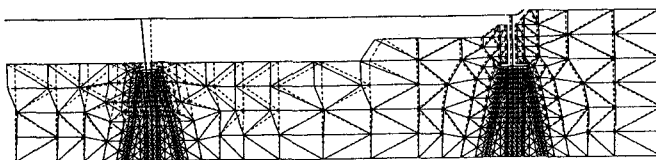


図5 落橋時の変位図

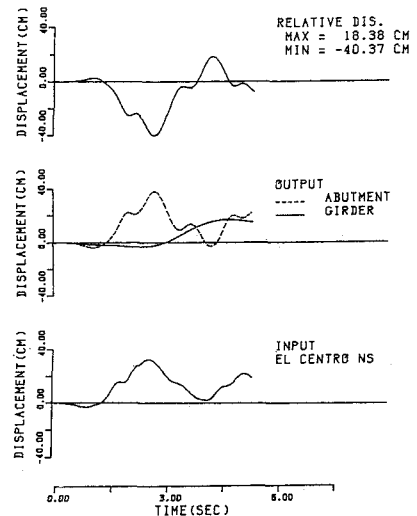


図6 変位時刻歴

6. 結論 以上の検討により次の落橋のメカニズムが明かとなった。

中央橋脚下の周辺地盤において非線形性、液状化により杭周辺の剛性が低減され、杭の周摩擦力と弾性支持力が低下し、これにともない杭先端にもぐり込みや引き抜きが発生し杭基礎構造自体が大きく回転することにより中央橋脚頂部で落橋にいたる水平変位が発生したと考えられる

今後、液状化の発生が予測される地点での杭基礎構造は斜杭を有することの他に杭先端を十分に支持層に慣入する事が必要と考えられる。また、道路橋示方書による予測とこの結果はかけ離れており、これは、道路橋示方書での、杭先端を無限遠とし、杭頭に慣性力のみが作用するとしている仮定の限界を示していると言え、杭を有限長さで扱う設計法の開発を提案する。