

(I - 79) 地震時破壊状況からコンクリート製橋脚に作用した外力の推定

早稲田大学理工学部 学生会員 桑原 淳
早稲田大学理工学部 フェロー会員 清宮 理

1. まえがき

兵庫県南部地震によって橋梁は著しい被害を受けた。神戸・西宮・芦屋にかけての臨港道路において古い設計基準で建設されたコンクリート橋脚にも大きな被害が見られた。中央スパン 200m の 3 径間連続鋼床版箱桁橋の第2摩耶大橋では、橋脚 P69 (図-1) には斜めせん断破壊が生じ、橋脚 P70 (図-2) は段落とし部において水平にひび割れが発生し、ほぼ完全に 2 分割された。両橋脚の破壊状況は大きく異なった。そこで、本研究ではそれらの破壊状況をもとに、地震時に RC 橋脚に作用した外力を推定するため有限要素法解析を行ったので、この結果を報告する。

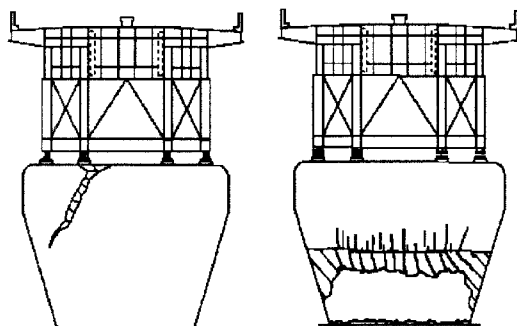


図-1 P 69 の被害状況

図-2 P 70 の被害状況

2. 解析モデル

橋脚 P70 のモデルを図-3 に示す。モデルは P69 (節点数 1735, 要素数 1880)、P70 (節点数 1225, 要素数 1400) とを 3 次元有限要素モデル化し、有限要素法汎用プログラム SOLVIA を用いて解析を行った。コンクリートを立体要素、鉄筋を板要素に置換した。コンクリートの材料特性は、ヤング率 $2.65 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 、ポアソン比 0.167、引張強度 24 kgf/cm^2 、圧縮強度 270 kgf/cm^2 とした。コンクリートの材料非線形性を図-4 に示す。ただし、橋脚 P70 の段落とし部の引張強度を低減させた。鉄筋は本数が多いので等価な鉄板に置換した。鉄筋はバイリニア型の応力ひずみ関係とした。ヤング率は $2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 、ポアソン比 0.3、降伏応力 3000 kgf/cm^2 とした。基部を固定し、4 つの支承に各種の水平（橋軸及び橋軸直角）及び上下方向の静的荷重を与えた。なお、上部工の重量はそれぞれの橋脚に常時は約 5,000(tf)かかっていた。以上のような条件で、破壊状況から外力を推定するために解析を行った。

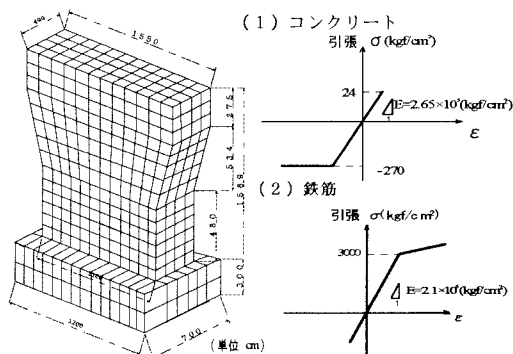


図-3 P 70 のモデル図

図-4 材料非線形性

3. 解析結果

3.1 橋脚 P69 まず、橋脚 P69 についてその被害状況 (図-1) から橋軸方向 (X) は無視し、鉛直方向 (−Z) と橋軸直角方向 (−Y) に様々な荷重の大きさの組合せを考え解析した結果、図-5-2 のようなひび割れが入り斜めせん断破壊を生じるのは、

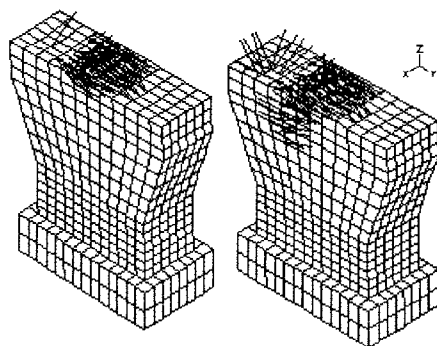


図-5-1 ひび割れ発生状況

図-5-2

キーワード：RC 橋脚、材料非線形性、有限要素法、地震外力

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 51 号館 16F-01 TEL.03-5286-3852 FAX.03-5286-3852

上部工の死荷重の約 3 倍程度の 14,121(tf)で、それが片側 2 つの支承に作用させたときであった。なお、ひび割れは 5,700(tf)のときに生じたが死荷重の約 2 倍程度の 10,800(tf)では、図-5-1 のようになり下方にひび割れは進展しなかった。その時の荷重と変位曲線を図-7 に示す。

3.2 橋脚 P70 次に、橋脚 P70 についてその被害状況（図-2）から段落とし部の打ち継ぎ目での引張強度（ σ_t ）の低下が考えられたので、段落とし部の引張強度（ σ_t ）を 24kgf/cm² から徐々に小さくしながら橋軸方向（-X）と橋軸直角方向（-Y）に支承の耐力を考慮しつつ様々な荷重の組合せを想

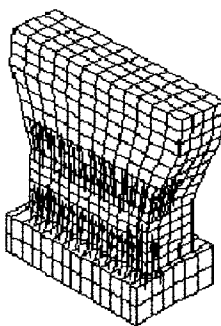


図-6-1 ひび割れ発生状況

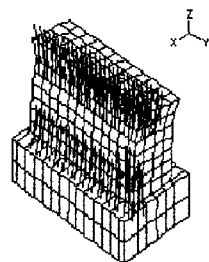


図-6-2

定して解析した。その結果、 $\sigma_t = 13(\text{kgf/cm}^2)$ の時に図-6-1 及び 6-2 のようなひび割れが入り破壊が生じた。その時、橋軸方向に 765(tf)、橋軸直角方向に 620(tf)の荷重が働いたことが図-8 より推定された。なお、この解析は（-X、-Y）方向に荷重をかけたもので、図-6-1 の手前側の 1/4 区画だけを考えた。よって残りの 3 方向 {（-X、Y）、（X、-Y）、（X、Y）} にも同様の荷重がかかれれば段落とし部全体に水平にひび割れが生じる。また、図-6-2 は図-6-1 を段落とし部で切断したときのひび割れ図である。橋脚の中心部までクラックが入っており実際の破壊状況と類似した。

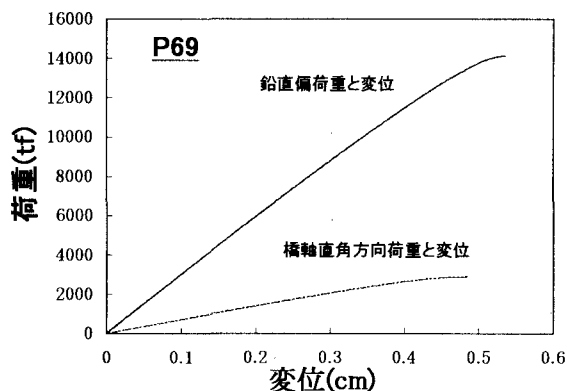


図-7 鉛直方向と橋軸直角方向の荷重と変位

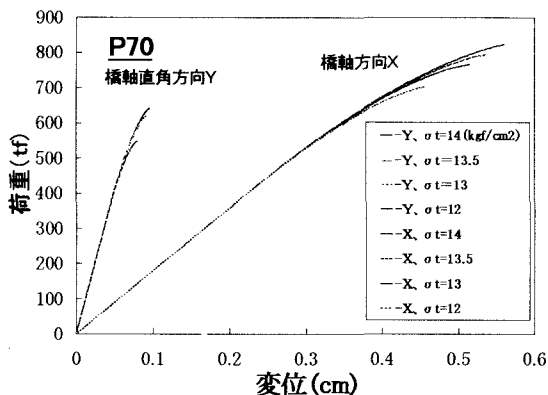


図-8 橋軸方向と橋軸直角方向の荷重と変位

4. まとめ

今回の検討より、橋脚 P69 には片側 2 つの支承に死荷重の 3 倍程度の鉛直荷重を作用させたとき破壊性状が一致した。しかし、なぜ大きな外力が働いたのかは現在不明であるが、地震の水平動と上下動によって支承がまず破壊し上部工が浮き上がり、その後落下したのではないか、あるいは P69 橋脚より耐荷力の弱い P70 橋脚がまず破壊し、その結果一時的に P69 橋脚に橋上部工の重量が乗ったものと考えている。実際に死荷重の 3 倍程度の外力が働くことがあり得るのか、全体系モデルでの有限要素法や上下動のみに着目した解析でそのメカニズムの解明が今後必要である。橋脚 P70 については、段落とし部のコンクリート打ち継ぎ目の引張強度の低下により、この箇所では橋軸方向と橋軸直角方向の曲げに耐えられず、水平にひび割れが生じて破壊に至ったと予想された。

5. 参考文献

- 横田 弘 他 3 名：兵庫県南部地震での第 2 摩耶大橋の被害状況と地震応答計算、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.19, No.2, 1997, pp.165~171
- 運輸省 他：1995 年兵庫県南部地震による港湾施設毎の被害報告書、平成 9 年 1 月、pp.1522~1549