

R C アーチ橋の複合非線形解析

阪神高速道路公団 正会員 ○幸左賢二 渡辺尚夫
鹿島建設（株） 正会員 大塚一雄 徳山清治

1. はじめに

現在建設中の阪神高速道路北神戸線の水晶山橋は、細長比（ λ ）が従来のアーチ橋の40程度にくらべて75と大きい。そのため、道路橋示方書に示されるように、不安定座屈挙動を十分評価する必要がある。このため、アーチリング部の終局挙動を1/15スケールによる全体系試験体（全長10m）を用いて実験的に評価している。その結果、複合非線形解析結果が実験結果と全体的によく整合するとともに、アーチリングの非線形性が耐荷力に大きく影響することが明らかとなった。そこで、これらの実験結果を反映させ従来の材料非線形のみによる解析に加えて、幾何学的非線形性を考慮した実橋全体系モデルでの複合非線形解析を実施し、実橋における終局挙動を評価した。

2. 解析手法

解析フローを図-1に示す。解析は、ひびわれの発生や鉄筋の降伏によりコンクリート部材の剛性が低下する材料非線形性と、構造系の変化により付加断面力を考慮した幾何学的非線形性を同時に考慮できる複合非線形プログラムを用いて、構造系が破壊に至るまでの解析を荷重増分法により行う。コンクリートおよび鉄筋の応力-ひずみ特性は、設計との整合性を図るため、道路橋示方書に準拠している。解析モデルは、図-2に示すように、アーチリング、鉛直材および補剛桁からなる橋梁全体系をモデル化し、剛域を除く構成部材全てを

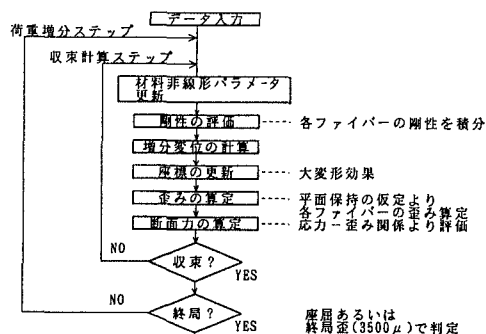


図-1 解析フロー図

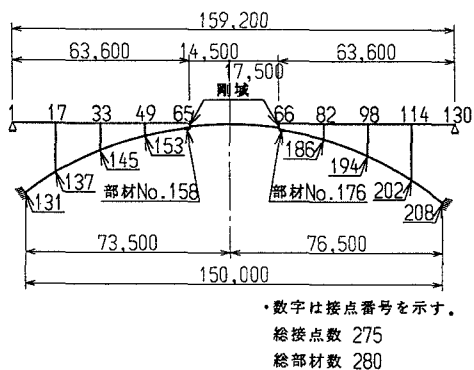


図-2 解析モデル図

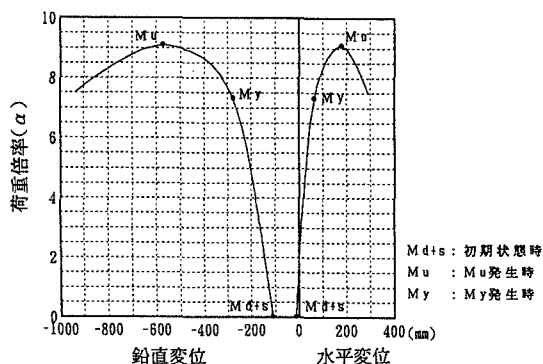


图-3 荷重-変位図 (活荷重半載)

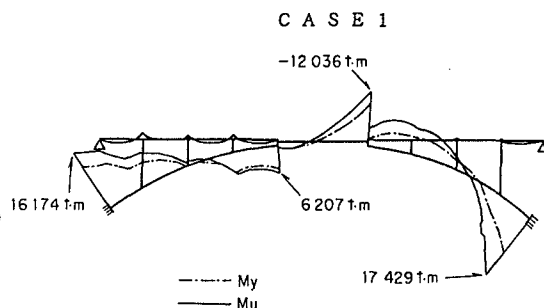


図-4 モーメント分布図(活荷重半載)

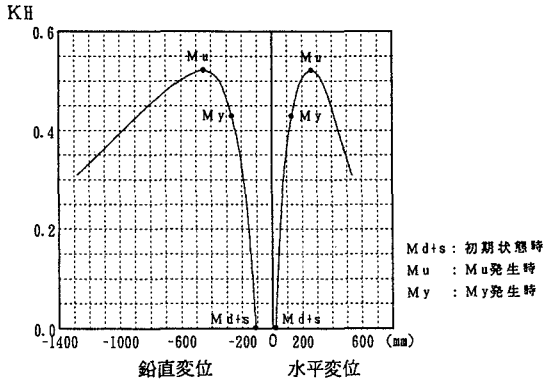


図-5 荷重-変位図（水平地震時）

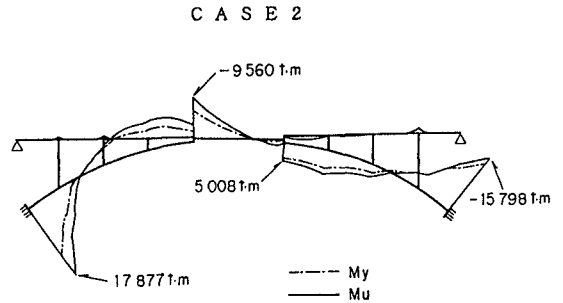


図-6 モーメント分布図（水平地震時）

非線形の梁要素（断面はファイバー要素を用いる）としている。荷重の載荷方法は、構造系完成時を初期状態として、活荷重（CASE1:活荷重半載）および地震慣性力（CASE2:基準水平震度0.22, CASE3:基準水平震度0.22 + 鉛直震度0.11）を増分荷重として載荷していく。初期状態の荷重としては、死荷重（クリープ終了時）を1.05倍したものと乾燥収縮による断面力を考慮する。以下に照査式を示す。

$$\text{CASE1: } 1.05D + 1.0(SH + CR) + \alpha \cdot L \quad \alpha \geq 2.5 \text{ なら安全}$$

$$\text{CASE2, 3 } 1.05D + 1.0(SH + CR) + \alpha \cdot EQ \quad \alpha \geq 1.3 \text{ なら安全}$$

3. 解析結果

1) CASE1

図-3に活荷重半載時における荷重-変形曲線、図-4に終局時の曲げモーメント分布を示す。図-3に示すように、アーチクラウン部（部材番号158）において最初にコンクリートひずみが 3500μ を超えて破壊に至る結果となった。これは、発生モーメントは基部が大きいものの、クラウン部で発生するモーメントは耐力との相関関係からみるとスプリング部以上に大きいものであったためと考えられる。また、終局時の荷重係数は $\alpha=9.1$ と許容値の2.5を大きく上回る結果となり、本橋は活荷重半載荷については十分な耐力を有していると判断できる。

2) CASE2

図-5に水平地震時における荷重-変形曲線、図-6に終局時の曲げモーメント分布を示す。破壊はアーチクラウン部で $K_h=0.52$ で座屈破壊が生じる結果となった。これは、設計水平震度を0.22とすると、荷重係数は $\alpha=2.37$ であり、許容値の1.3を上回り、水平地震に対する耐力も有しているといえる。また、複合非線形解析では座屈破壊が、コンクリートひずみが 3500μ に至るよりも早く発生することが判明しており、座屈に対する十分な検討が必要であることを示している。

3) CASE3

鉛直震度を考慮した場合、 $K_h=0.56$ （ $\alpha=2.53$ ）で座屈破壊が生じる結果となり、この荷重ケースにおいても本橋は所用の耐力を有していることが分かる。しかし、下向きの鉛直地震を考慮した方が、荷重係数が上がるため、水平地震 + 上向きの鉛直地震の荷重ケースを解析したところ、 $K_h=0.49$ （ $\alpha=2.21$ 相当）で座屈破壊が生じる結果となった。これは、鉛直地震力により、アーチリングの軸圧縮力の上昇・下降に伴い耐力が増減するためと考えられる。また、RCアーチ橋のような場合には鉛直震度が耐力力に与える影響は小さいことが分かる。

4. まとめ

- 1) 複合非線形解析（材料および幾何学的非線形を考慮）によりRCアーチ橋の耐力解析を実施した。
- 2) 地震時では座屈破壊が先行して発生することが判明し、複合非線形解析の意義を立証できた。
- 3) 本橋においては、鉛直地震が耐力力に与える影響は水平地震のそれより小さい。