

橋脚沈下を受ける老朽化した石橋の安定性に関する解析的研究

国立大分高専 正 員 相川 明
 国立大分高専 学生員 伊東 雅史
 国立大分高専 学生員〇 西岡亜樹子

1. はじめに

「白手橋」は日田市内で道路橋として供用中の石橋である。本論文は、石橋の橋脚の一方が沈下した場合を想定し、それに伴う石橋の安定性と耐震性に及ぼす影響について、不連続体解析を用いて¹⁾検討するものである。

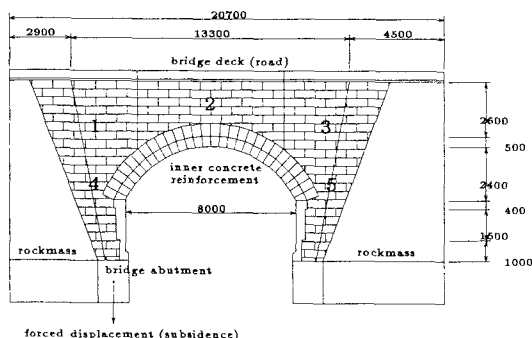


図-1 多角集合体不連続体解析モデルと面積領域分割

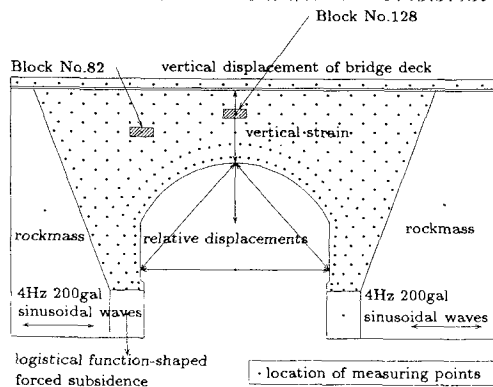


図-2 計測点・測線位置と載荷条件(強制沈下・正弦波振動)

2. 解析モデルの作成と解析条件

原因と現場写真をもとに、2次元多角形集合体による不連続体モデル(図-1)を作成した。石橋自重に加えて、大型トレーラー等の上載荷重 50 tonf/m^2 を路面に載荷し、左右の岩盤と基礎部分を固定とし、左側橋脚の洗掘による沈下を強制変位にて与えて、構造的に健全な状態のモデルと、構造的に緩んで劣化した状態のモデルを作成した。

場所的な破壊進展挙動を把握するために、石橋の側面を同図に示す5つの領域に区分し、また、モデルを構成する各ブロック重心に計測点(図-2)を設けた。

構造的に健全なモデルと、橋脚沈下で緩んだモデルの、左右岩盤と橋脚基礎に $4 \text{ Hz } 200 \text{ gal}$ の正弦波(周波数 f , 加速度 a の波形を2回積分した振幅 $a/(2\pi f)^2$ の正弦波変位波形)を2秒間水平に載荷し、複数ブロックについて、水平変位、鉛直変位、回転変位の時刻歴を出力した。

岩石は密度 2.77 g/cm^3 , ヤング率 20 GPa , ポアソン比 0.15 , 内部摩擦角 55° , コンクリートは密度 2.40 g/cm^3 , ヤング率 2 GPa , ポアソン比 0.25 , 内部摩擦角 30° , モルタル充填面の引張強度 1 MPa , 粘着力 0.1 MPa とした。

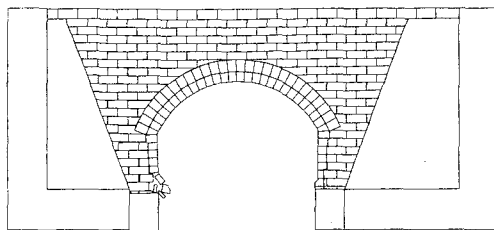


図-3 橋脚沈下量 20 cm の場合の解析結果

3. 橋脚沈下による安定性解析結果

図-3 は結果の一例である。橋脚沈下量が 20 cm を越えると、左橋脚部のブロックが崩落し始めており、この時点で石橋は機能的に道路としての供用は困難と考えられる。

図-4 は領域別の面積変化である。沈下橋脚側の領域4に最初に小規模の間隙ができ、その後、領域4の上方の領域1に大きな間隙が生じた。領域1と領域4の曲線が交互に増加、減少を繰り返していることから、まず領域4で間隙ができ、その間隙をつくっているブロックが崩落し、その結果、領域1に間隙が発生するという現象を繰り返していることが分かる。領域2、5も連動して小規模の変化を繰り返すが、領域3ではほとんど変化がない。

図-5 は、路面の平均沈下量とアーチ天端の沈下量である。アーチの天端部分の沈下量は、橋脚沈下量が $0 \sim 20 \text{ cm}$ の範囲ではほぼ比例するが、橋脚沈下量 $25 \sim 30 \text{ cm}$ では、急激にアーチの天端部分が 5 cm 程沈下している。また、強制変位量が 50 cm を越えた付近から大きく増加しており、この2度目の変化が現れた時点で、石橋構造全体が崩壊目前の危険状態と判断できる。

図-6 は、アーチ内空の鉛直方向、水平方向、天端と左端、天端と右端の4測線の相対変位(ひずみ)である。いずれも、脚部沈下に伴い増加傾向が見られる。鉛直と水平方向はほぼ同じ大きさで増加するが、斜め方向は左側のみ増加量が大きく、アーチ全体が左回転し、アーチ構造の安定化に不可欠な対象性が失われている状況がわかる。

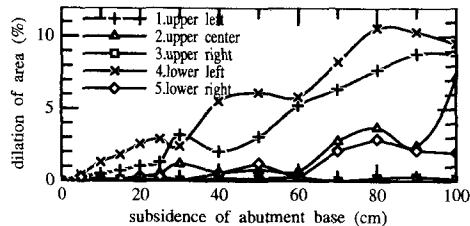


図-4 橋梁側面5領域の面積変化率

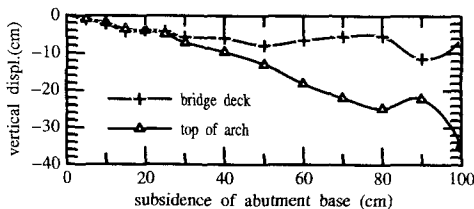


図-5 路面の平均沈下量とアーチ天端の沈下量

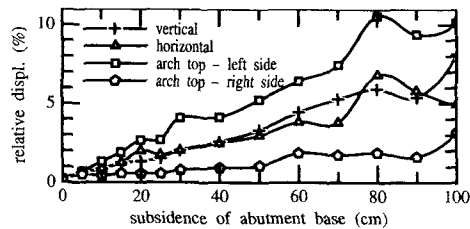


図-6 アーチ4測線の内空変位(ひずみ)

4. 橋脚沈下による動的挙動解析結果

図-7～図-9は計測点No.82とNo.128の時刻歴応答である。いずれの図でも、水平変位、鉛直変位、回転変位ともに、入力周波数4Hzに一致する応答が見られ、石橋全体が概ね一体的に振動していることがわかる。また、橋脚沈下量の増加に伴い、振幅が大きくなり、波形も崩れており、しだいに塑性変形も生じている。

ことに、橋脚沈下20cmの鉛直変位では、大きく沈下し大振幅を生じた。静的載荷状態では安定性を保っているが、個々の緩みの発生が、構造物全体の耐震性に影響することがわかる。また、緩んだ橋脚の直上のNo.82がNo.128よりは、振幅、変形量ともに大きく、部材周辺の緩みが局所的な運動量増加に関与していることがわかる。

また、いずれの図でも40Hz前後の高周波応答があり、水平・鉛直に比べて回転の高周波成分が顕著である。この

高周波は個々のブロックの局所的な回転挙動に起因するものであり、橋梁の緩みの増加により、個々の部材の局所的な回転運動が増加したものと考えられる。

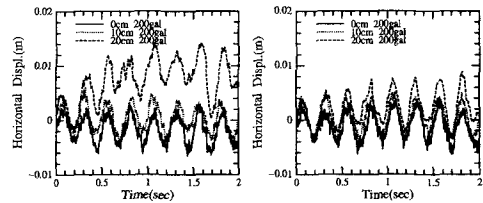


図-7 水平変位の時刻歴応答(左:No.82 右:No.128)

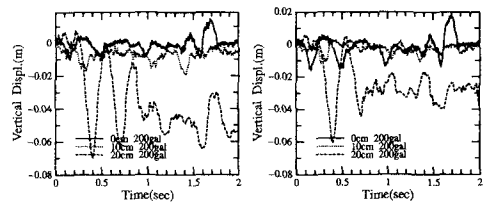


図-8 鉛直変位の時刻歴応答(左:No.82 右:No.128)

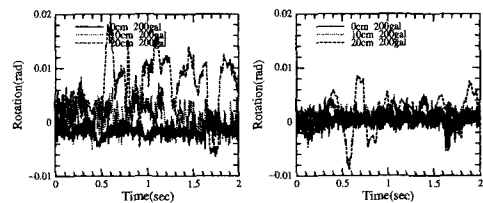


図-9 回転変位の時刻歴応答(左:No.82 右:No.128)

5. まとめ

不連続体モデルを用いて、橋脚沈下による石橋の変形・破壊挙動を再現し、橋脚沈下量に関して道路機能面及び構造安定面からの限界値を調べた。

さらに、緩みがない健全な状態と、沈下により緩みが生じて劣化した状態の橋梁に動的荷重を加えて、劣化状況が構造上の動的な不安定性に影響することを定量的に求めた。また、劣化が進行すると、個々の部材の回転運動による局所的な動きが増大することを明らかにした。

また、本解析は、ブロックの形状特性と表面摩擦のみをパラメータとしており、仮想的な構成式を用いていない。構成式を仮定しなくても、形状特性と摩擦特性のみで破壊挙動や振動特性の再現が可能であることが示された。

今後、解析結果と現象との整合性を確保する必要がある。局所的な体積増加量と部材の運動エネルギー特性を破壊進展の定量的な指標としてとらえることにより、構造物の劣化と破壊挙動の解明に役立つものとする。

参考文献

- 1) Shi, G.H. and Yeung, M.R.: Discontinuous Deformation Analysis Program Version 96 User's Manual, 1996.