

(I - 57) 衝撃的上下動を受ける RC 橋脚の過渡応答に関する一考察

防衛大学校 学生員 ○比嘉隼人 学生員 別府万寿博 正会員 香月智 正会員 石川信隆

1. 緒 言

兵庫県南部地震で損傷を受けた RC 橋脚の中には橋脚中央部に水平の輪切り状ひび割れがみられ、衝撃的な上下動がその原因ではないかとの指摘も多い。衝撃的上下動による構造物の破壊に関するこれまでの研究は、大きく波動論的立場と振動論的立場の二つの観点から実験的および解析的研究が行われているが、波動論的破壊と振動論的破壊を統括した研究はあまり見当たらない。そこで本研究は、まず波動と振動の両方を表現できる解析手法の検討を行い、次に衝撃的上下動を受ける RC 橋脚の波動場から振動場を含む過渡応答について、最大速度および継続時間などをパラメーターとして検討したものである。

2. 多質点系モデルによる波動伝播解析の検討

ここでは、衝撃的上下動を受ける RC 橋脚の挙動を基本的に 1 次元の問題であると考えて、多質点系モデルにより波動伝播解析と振動解析の両方を取り扱えるか否かを厳密解と比較することにより検証する。多質点系モデルを選択した理由は、衝撃的上下動を受ける RC 橋脚の変形挙動を 1 次元問題と仮定すると空間的な波動伝播と振動の方向が一致するためモデル化誤差の影響が小さいと考えられることや変形挙動の基本的メカニズムを把握しやすいためである。

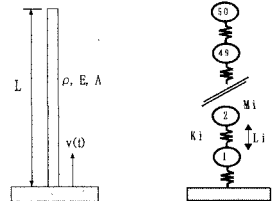


図-1 解析対象とした柱部材 図-2 多質点系モデル

表-1 波動伝播解析に用いた解析定数

各バネ要素のバネ定数	$Ki=3.0 \times 10^4 \text{ kgf/cm}$
各バネ要素の長さ	$Li=100 \text{ cm}$
各質点の質量	$Mi=63.8 \text{ kgf} \cdot \text{s}^2/\text{cm}^2$

2.1 微分方程式による厳密解

ここでは、まず厳密解を用いて図-1 に示す柱部材の下端に速度 v_0 の衝撃が加わった場合の波動の伝播状況の表現を試みる。

柱部材下端における力の釣合いは次式で表される。

$$M \frac{dV}{dt} + A \sigma_0 = 0 \quad (1)$$

ただし、 M : 柱部材の質量、 A : 柱部材の断面積

V : 柱部材下端の速度、 σ_0 : 柱部材下端に生じる応力

柱部材下端の変位速度振 v_1 は衝撃速度 v_0 と柱部材全体の速度 V の相対速度 $V_1 = V_0 - V$ で、これを式(1)に代入すると次式のように表される。

$$A \sigma_0 = M \frac{dV_1}{dt} \quad (2)$$

上式を初期条件 $t=0$ で $V_1 = v_0$ として解くと、各高さにおける応力

は次のようになる。

$x < 2L - ct$ において、

$$\sigma = -\rho c v_0 \exp\left\{\frac{\rho A}{M}(x-ct)\right\} - \frac{L-x}{L} \frac{Mg}{A} \quad (3a)$$

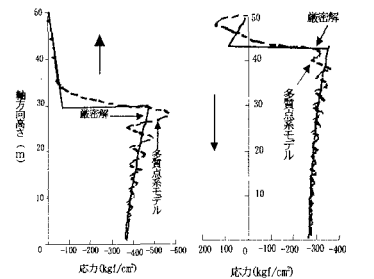
$2L - ct \leq x \leq L$ において、

$$\sigma = \rho c v_0 \left(\exp\left\{\left(\frac{\rho A}{M}\right)(2L-x-ct)\right\} - \exp\left\{\left(\frac{\rho A}{M}\right)(x-ct)\right\} \right) - \frac{L-x}{L} \frac{Mg}{A} \quad (3b)$$

ただし、 $L/c \leq t \leq 2L/c$ L : 柱の長さ c : 波動伝播速度

2. 2 多質点系モデルによる数値解

図-2 のように柱部分を 50 分割し、表-1 の解析定数を用いて計算を行った。図-3 に多質点系モデルのひずみ分



(a) 往路 ($t=0.009\text{s}$) (b) 復路 ($t=0.0165\text{s}$)

図-3 多質点系モデルと厳密解との比較

表-2 解析ケースの一覧 (最大加速度 2G)

ケース	1	2	3	4	5	6	7	8	9
V_0 (cm/s)	3.3	4.2	5.6	8.3	16.7	33.3	50.0	66.6	83.3
入力時間 (s)	0.0053	0.0067	0.0089	0.0134	0.0267	0.0534	0.0801	0.1068	0.1335

キーワード：衝撃的上下動、RC 橋脚、水平の輪切り状ひび割れ、過渡応答

連絡先：〒239-0811 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 TEL : 0468-41-3810 FAX : 0468-44-5913

布を厳密解と比較して示す。入力定数は、 $V_0 = 50 \text{ cm/s}$ ， $c = 3.43 \times 10^5 \text{ cm/s}$ で、時刻間 $\Delta t = 1.0 \times 10^{-6} \text{ s}$ とし、減衰は考慮していない。図-3(a)は衝撃により入力された圧縮波が柱の片道を伝播しており、また図-3(b)より圧縮波が柱上端に伝達して自由端で反射し、引張応力波となっている様子が確認できる。これより、多質点系モデルは波動先端に振動がみられるが厳密解とほぼ等しい挙動を示しており、多質点系モデルにより波動の伝播を追跡可能であることがわかる。

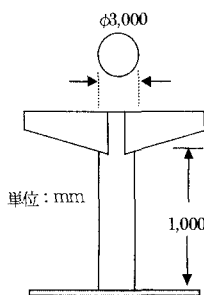


図-4 RC 橋脚の概要

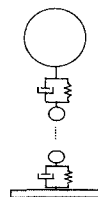


図-5 橋脚のモデル化

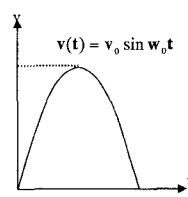


図-6 入力速度

3. 実RC橋脚の検討

ここでは、多質点系モデルを用いて実際のRC橋脚に衝撃的上下動が作用した場合の変形挙動の予測、検討を行う。解析の対象としたRC橋脚は、図-4のような高さ10m、直径3mの円形断面のものを想定し、10質点にモデル化して解析を行った。図-5に解析モデルを示す。入力には図-6に示すsin半波の入力速度を用いた。なお、入力の最大加速度は980gal (1G)、1470gal (1.5G)、1960gal (2G)の3通りを設定して速度と入力時間を組合せた。組合せの一例として表-2に最大加速度2Gの解析ケースの一覧を示す。

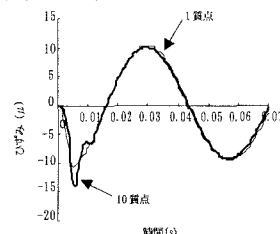


図-7 応力波の減衰状況

3. 1 波動伝播の影響

図-7に解析ケース1で減衰定数 $h=0.03$ のときの解析結果を1質点系モデルの結果と比較して示す。これより、入力初期に生じた応力波は、第1波のみが大きな圧縮ひずみを示した後大きく減衰して、1質点系モデルとほぼ等しい挙動を示すことがわかる。これより、波動伝播の影響は入力直後の第1波のみが重要であり、特に引張破壊を対象とする場合は、構造物の挙動は系全体の振動により支配されているものと思われる。

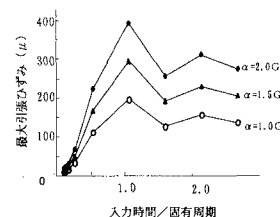


図-8 最大引張ひずみ～入力時間関係
(上部工重量 1000tf)

3. 2 入力速度および入力時間の影響

図-8に上部工重量が1000tfの場合の最大引張ひずみ～入力時間関係を示す。図-8より、いずれの最大加速度の場合も入力時間が橋脚の固有周期と等しくなるまでは最大引張ひずみと入力時間の関係はほぼ線形の関係で増加し、入力時間が固有周期と等しい場合に最大引張ひずみが最も大きくなっている。また、入力時間が固有周期よりも大きくなると、最大引張ひずみは一定の値に収束する傾向が認められる。特に、最大加速度が1.5Gと2.0Gでは入力時間が固有周期の0.5倍以上になると限界引張ひずみ200μを越えることがわかる。図-9には最大引張ひずみと最大入力速度の関係を示す。これより、最大速度は現実的な値(100kine以下)でも限界引張ひずみを越えることがわかり、いずれの加速度でも約20kine以上の速度になると限界引張ひずみ約200μを越えることがわかる。以上より、入力加速度が1.5G以上で入力時間が固有周期の0.5倍以上(対応する速度は20kine以上)の入力があると限界引張ひずみを越えてひび割れが発生する可能性がある。

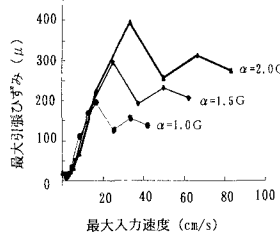


図-9 最大引張ひずみ～最大入力速度関係
(上部工重量 1000tf)

3. 3 上部工重量の影響

図-10には上部工重量を500tf、1000tfおよび1500tfと変化させた場合の最大引張ひずみと最大入力加速度の関係を示す。これより、上部工重量が大きくなるにしたがい最大引張ひずみも大きくなることがわかる。また、入力最大加速度が1Gの場合でも上部工重量が1500tfになると最大引張ひずみは200μに達しており、上部工重量の影響は大きいものと思われる。

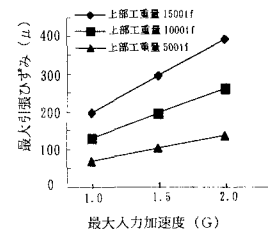


図-10 最大引張ひずみ～最大入力加速度関係

参考文献

- 1) 谷村真治, 三村耕司他: 橋脚の衝撃的破壊挙動に関する一考察, 日本機械学会講演論文集, No. 964-1, pp. 176-177, 1996年3月
- 2) 宮本文徳, 小野紘一他: RC橋脚の損傷に及ぼす衝撃的上下動の影響に関する一考察, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 18, No. 2, pp. 269-274, 1996