

I - B253

衝撃的地震動によるRC橋脚の引張破壊とその対策

岡山大学工学研究科 西尾 研二
岡山大学環境理工学部 正会員 竹宮 宏和

1. まえがき

兵庫県南部地震は直下型で、体感的には衝撃的地震動と呼ばれ、これまでの地震とは異なった地震動を引き起こした。そして、神戸の建物、橋梁などの構造物に甚大な被害を生じさせた。それらの多くは構造力学的に曲げ、せん断破壊として破壊メカニズムが説明された。しかし、RC橋脚、煙突において、引張破壊現象以外では説明が難しい破壊の痕跡もかなり見られた。本研究は、RC橋脚を対象に、想定した衝撃的入力の下で引張破壊が発生する可能性をコンピュータシミュレーションにより検討したものである。また、橋脚下端に緩衝層を設けることにより、橋脚内の引張応力がどの程度、低減するかについての考察も加えた。

2. 解析モデル及び解析手法

解析対象モデルとして、図1に示す2次元半無限一様弾性地盤上に有限要素法によってモデル化される弾性構造物が存在する場合を考える。半無限一様弾性体の衝撃載荷によるグリーン関数を、構造物とのインターフェイス面、地表面に関して離散化し、初期境界値問題の時間領域BEMに導入した。FEMは時刻歴解析を実行するために、ここでは、Newmark-β法を採用し、パラメータは $\gamma=0.6, \delta=0.4$ とする。構造物内の応力は、FEMの剛性マトリックスを作成する際に用いる変位-応力変換マトリックスにより求められる。解析に用いた地盤、構造物の物性値は表1に示す。解析モデルについては、それが受け持つ桁の重量を考慮するため、桁の載っている部分に同質量を付加している。その際、橋脚の柱部分の鉛直方向に約 20 kgf/cm^2 の静的応力が発生するように考慮している。また、地盤の物性値は地中に埋設されている基礎部を考慮し、実際の地盤より堅いものとなる値を与えている。

次に、衝撃的地震動を以下のように仮定する。

$$V(t) = V_0 \sin\left(\frac{4\pi}{T_0}t\right) \left[H(t) - H\left(t - \frac{T_0}{2}\right) \right] \quad (1)$$

ここに、 V_0 は最大速度であり、 $H(t)$ はHeaviside関数を定義する。弾性体の衝突理論により求めた地震波速度 $V(t)$ と構造物への地震力 $F(t)$ の関係は、

$$F(t) = -\frac{2G(1-\nu)}{c(1-2\nu)} V(t) \quad (2)$$

ここで、 G : 構造物のせん断弾性剛性、 c : 構造物の波動伝播速度、 ν : ポアソン比である。

(2)式で示した地震力をFEM構造物の底面に外力として作用させる。最大速度 V_0 は100(kine)とすると、地震力の強度は $F=9000(\text{kN/m}^2)$ となる。解析モデルに用いた地震力の周期は便宜上、反射波と直達波が重なり最も引張応力が発生するように決定しており、 $T_0/2=0.006(\text{sec})$ とする。

3. 解析結果と考察

本解析手法の検証例として、1次元弾性棒と2次元半無限弾性体を結合させたモデルの解析結果との比較を示す。解析モデルとしては、構造物上部にHeaviside型の載荷を作用させ、寸法を高さ5(m)、幅0.5(m)とし、用いた物性値を表2に示す。図3は*印断面での平均鉛直応力の時刻歴を示してお

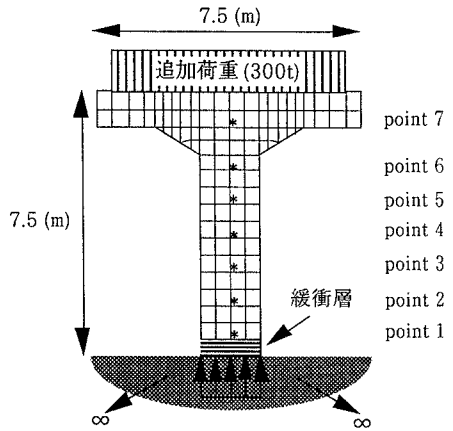


図1 FEMとBEMのハイブリッド解析モデル

表1 地盤・構造物 物性表

	E (kN/m ²)	ρ (tf/m ³)	ν
構造物	2.94×10^7	2.5	0.2
地盤	1.92×10^7	2.0	0.33
緩衝層	1.00×10^6	1.8	0.35

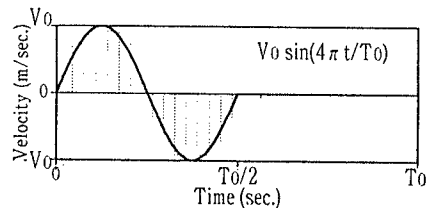


図2 衝撃的地震動図

り、文献2)では、構造物を1次元として取り扱った違いはあるものの、全体的に一致している様子が見られる。

図4は、RC橋脚の代表的な中心軸上の節点の鉛直応力の時刻歴を示したものである。応力は各要素の積分点において評価してある。また、緩衝層がない場合を実線、緩衝層がある場合を破線で示す。図4より、RC橋脚の下端から上方に向かって、まず最初に圧縮応力波が伝わり、引き続いて引張応力波が上端に向かって進む。前者の圧縮波は上端の自由境界条件の下で反射された後、引張応力となって下方に向かうが、後続の引張応力波と重なってさらに大きな引張応力となる。緩衝層がある場合の時刻歴についても、同様の現象が生じているが、橋脚底面から入射される地震波が緩衝層により低減され、引張応力は緩衝層を設けない場合と比較して小さくなっていることが確認できる。

図5に、地震波速度をパラメータにした最大圧縮、引張応力のプロフィールを示す。また、静的応力を破線で示し、コンクリート引張限界強度を $3000(\text{kN}/\text{m}^2)$ と定め、*印つきの実線で示している。これから引張破壊を発生する断面の範囲が地震波速度に応じて特定できる。図5-1からは、大きな引張応力が橋脚天端から下方へ向かって橋脚高さの1/4程度の範囲で見られる。図5-2より、引張応力が緩衝層を設けない場合と比較して低減していることが分かる。地震波の入射速度にして、40~60(kine)程度において、よい低減効果を示していると考えられる。

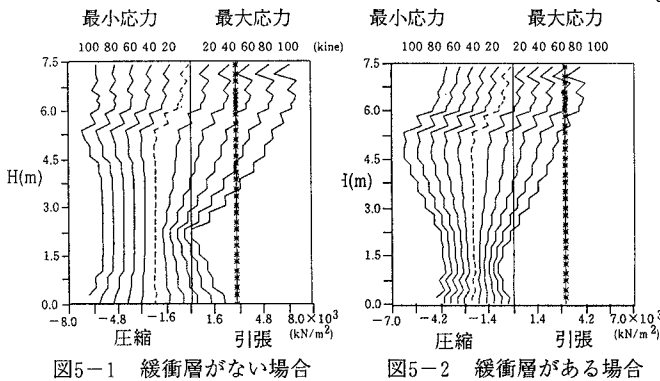


図5-1 緩衝層がない場合 図5-2 緩衝層がある場合

図5 任意の速度入力による応力分布図

表2 地盤・構造物 物性表

	E (kN/m ²)	ρ (tf/m ³)	ν
構造物	2.5×10^7	2.4	0.33
地盤	1.37×10^5	1.8	0.48

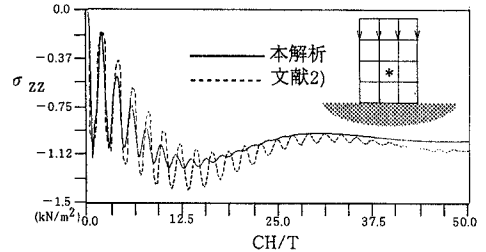


図3 鉛直応力の時刻歴応答

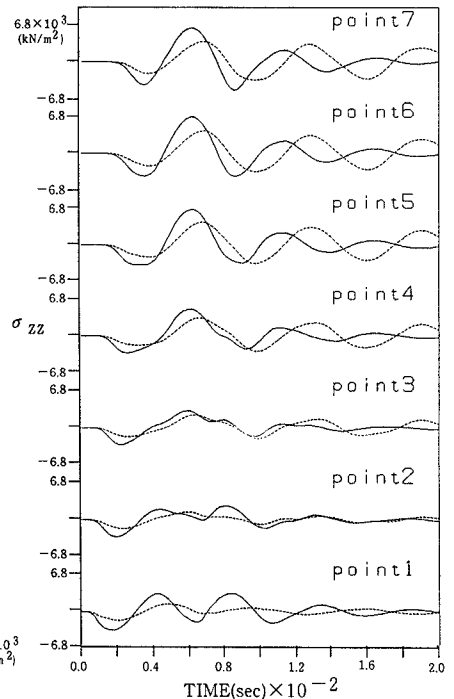


図4 鉛直応力の時刻歴応答
($V_0 = 100$ kine)

4. むすび

兵庫県南部地震の際、観測地震波では引張破壊を確認できないRC構造物を対象に、衝撃的地震波入力により引張破壊が発生した可能性があるとの推測に、そのシミュレーションを行った。そして、そのことを裏付けた。また、橋脚下端に緩衝層を設けることにより、40~60(kine)程度の地震波速度に対して、引張応力をコンクリートの引張強度限界以下に抑えることができる。

参考文献

- 1) 竹宮宏和、堀内深：衝撃的地震動によるRC構造物の引張破壊現象の可能性、第3回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集
- 2) 石崎太郎、岩崎英治、林正：弾性地盤上に置かれた棒の衝撃応答、土木学会第50回年次学術講演会