

正員	建設省土木研究所	川島	一彦
正員	建設省土木研究所	運上	茂樹
正員	建設省土木研究所	○向	秀毅

1. まえがき

本文は、直接基礎の地震時の転倒に対する照査条件を検討することを目的として、従来の震度法に従って設計した直接基礎の転倒振動解析を行い、大正 12 年関東大震災級の大規模地震を受けた場合に、どの程度の振動応答が生じるかを解析的に検討した結果を報告するものである。

2. 転倒振動解析手法の概要

解析では、上部構造や橋脚を骨組構造モデルとして考慮することが可能な基礎の転倒解析手法を用いた。図-1に示すように、上部構造及び橋脚を有する基礎が底面及び側面において、それぞれ、放線方向の抵抗ばね及びこれに直行する方向のせん断ばねによりモデル化された地盤によって支持され、これに地震動加速度が作用するものとする。上部構造及び橋脚は、線形骨組構造としてモデル化する。なお、上部構造及び橋脚の減衰力を考慮するために、各振動モードごとに減衰定数を与えた。底面及び側面において基礎を支持する地盤ばねは、離散化した分布ばねによりモデル化する。基礎底面では、地盤ばねによる復元力と同時にロッキング振動に伴って生じる基礎との衝突による速度低下を考慮するために減衰力を考慮する。

3. 解析对象基礎

解析対象は、Ⅰ種地盤及びⅡ種地盤上に建設される直接基礎を有する一般的な橋梁とした。上部構造は、支間長 40 m、橋長 121 m の 3 径間連続非合成鈹桁橋とし、桁の両端は橋台で、中間橋脚に固定支承を有する 1 点固定方式の構造である。下部構造は、直接基礎を有する高さ 10 m 及び 15 m の鉄筋コンクリート構造とした。支持地盤は、Ⅰ種地盤については C_m級の岩盤（せん断弾性波速 3,000 m/sec）、Ⅱ種地盤については N 値 40 の砂質土層（せん断弾性波速 274 m/sec）とした。

解析対象としたのは、固定橋脚基礎の橋軸方向とし、地盤種別及び橋脚高さによって合計4基礎とした。図-2は、高さ10mの場合の解析対象基礎の寸法及び解析モデルを示したものである。固有周期は、Ⅰ種地盤上の基礎の場合には0.28秒（高さ10m）及び0.44秒（高さ15m）、Ⅱ種地盤上の基礎の場合には0.47秒（高さ10m）及び0.63秒（高さ15m）であり、設計水平震度は、Ⅰ種地盤上の基礎については0.2、Ⅱ種地盤上の基礎については0.25となる。

入力地震動としては、道路橋示方書Ⅴ耐震設計編に示される鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力レベルに相当する応答スペクトルに強震記録を周波数領域で振幅調整した入力地震動を用いた。Ⅰ種地盤及びⅡ種地盤用の入力地震動の最大加速度は、それぞれ、 360cm/s^2 及び 417cm/s^2 である。

4. 解析結果

図-3及び図-4は、高さ10mの基礎について、それぞれ、Ⅰ種地盤及びⅡ種地盤上の橋脚天端の水平変位及びフーチング重心点の回転角の時刻歴波形を示したものである。

Ⅰ種地盤上の基礎のフーチング重心点の回転角を見てみると、基礎は入力地震動が大きくなり始める約1.5秒からロッキング振動し始める。一方、Ⅱ種地盤上の基礎の場合には、地盤の変形とともにロッキング振動していることがわかる。Ⅰ種地盤上の基礎（高さ10m）の場合に橋脚天端の最大水平変位は1.52cm、フーチング重心点の最大回転角は 0.19×10^{-3} radである。Ⅱ種地盤上の基礎（高さ10m）の場合には、それぞれ、2.36cm、 1.70×10^{-3} radとなり、Ⅰ種地盤の基礎に比較して、それぞれ、1.55倍、8.9倍に大きくなる。従来の静的な転倒照査法では、基礎底面における作用

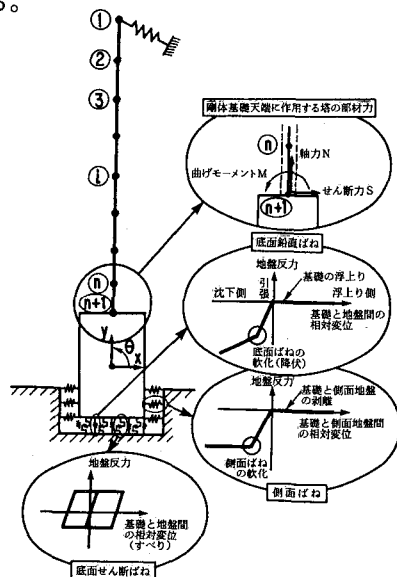


図-1 基礎の転倒振動解析モデル

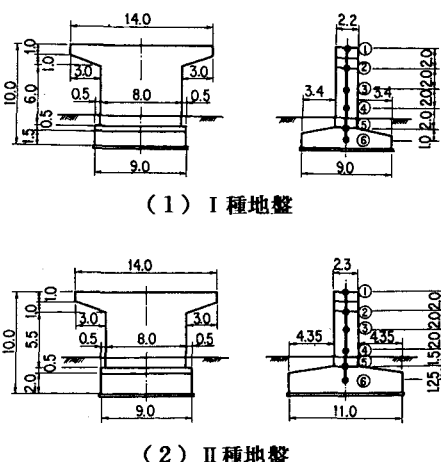


図-2 解析対象基礎（高さ1.0m）

力の偏心率により照査をするが、これと比較するために、動的解析から求められた基礎底面における最大作用力を用いて偏心率を算出したのが図-5である。ここには、震度法で設計した場合の偏心率も示している。これによれば、動的解析から求められた基礎の偏心率はⅠ種地盤上では0.8~0.9、Ⅱ種地盤上では0.4~0.5となる。震度法では、底面作用力の偏心率はほぼ同じ(許容偏心率以内)であるように設計したのに対し、地震時保有水平耐力法レベルの地震入力に対しては、Ⅰ種地盤上の基礎の偏心率はⅡ種地盤上の基礎の場合の2倍程度に大きくなっている。

図-6は、偏心率と最大回転角応答の関係を示したものである。これによれば、偏心率はⅠ種地盤上の基礎の方が大きい、最大回転角は逆にⅡ種地盤上の基礎の方が大きくなっている。これは、Ⅰ種地盤上の基礎の方がⅡ種地盤上の基礎よりも固有周期の短い振動特性を有するため、加速度、すなわち、底面に作用するモーメントはⅠ種地盤上の基礎の方が大きくなるが、反対に回転角応答は小さくなるためである。したがって、仮に基礎の回転変形によって転倒照査を行うようにすると、地震時保有水平耐力法において同じ偏心率を持つ基礎幅は、震度法の場合と異なり、Ⅰ種地盤上の基礎は基礎幅をもっと小さくすることが可能であることを意味する。

5. 結論

- 1) 震度法の耐震設計では、偏心率がほぼ許容値となるように基礎幅を定めるが、動的解析により実際に関東地震級の大規模地震を受けた時に生じる偏心率を求めると、Ⅰ種地盤上の基礎の方がⅡ種地盤上の基礎よりも大きい。これに対して、基礎に生じる回転角は、Ⅱ種地盤上の基礎の方が大きい。
- 2) 従来の静的な安定照査は、底面作用力の偏心率のみで行われており、変形に対する照査は行われていない。地震時の基礎及び橋全体に及ぼす影響という観点から考えると、いかに偏心率が大きくても実際に基礎に生じる変形が重要である。したがって、偏心率ではなく基礎の回転変形を基本にした新たな転倒に対する照査体系が必要とされる。

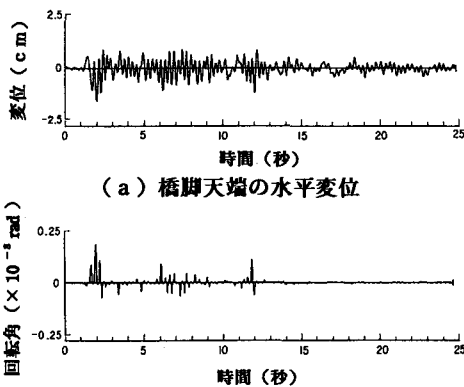


図-3 Ⅰ種地盤、高さ10 mの基礎の時刻歴応答

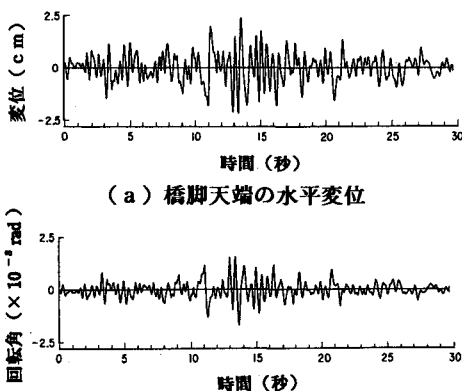


図-4 Ⅱ種地盤、高さ10 mの基礎の時刻歴応答

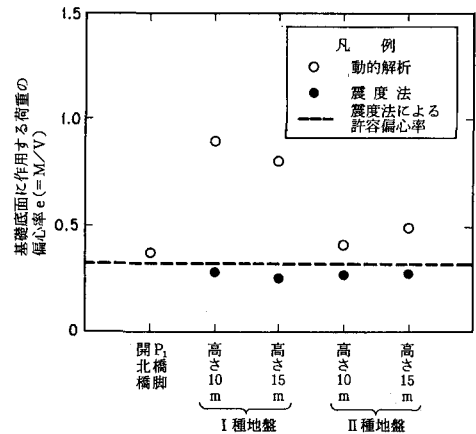


図-5 動的解析により求めた最大応答値を用いた場合の作用力の偏心率

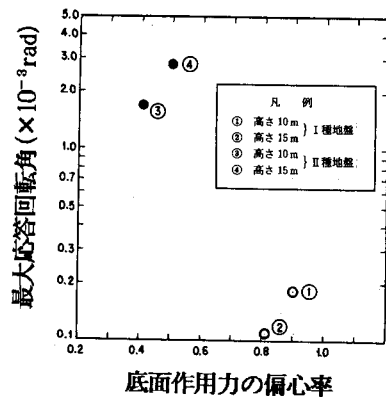


図-6 地震時保有水平耐力法の地震入力を行った場合の底面作用力の偏心率と最大回転角の関係