

水平 2 方向地震動下におけるアンカー部を考慮した鋼製橋脚の地震時挙動特性

岐阜工業高等専門学校 学生会員 ○稲川 桃子

岐阜工業高等専門学校 正会員 水野 剛規

1. はじめに

鋼製橋脚アンカー部は、橋脚躯体基部に剛結されたものとして設計される。しかし、兵庫県南部地震ではアンカー部が損傷した事例が見られ、このような場合、鋼製橋脚全体系の挙動はアンカー部の影響が支配的になると考えられる。アンカー部を考慮した鋼製橋脚の地震時挙動は、過去に 1 方向地震動下においてアンカー部にマクロ的な復元力モデルを用いたはり要素による簡易的なモデルにおいて検討されている¹⁾。しかし、この検討に用いたアンカー部の復元力モデルは一定軸力下での 1 方向地震動に対応した面内曲げのものであり、軸力変動や多方向地震動に対応したものではない。そこで本研究では、鋼製橋脚はシェル要素でモデル化し、アンカー部には 3 次元挙動に対応した Component method²⁾ による数値解析モデルを導入し、さらに地盤には簡易的な集約ばねモデルを用い考慮することにより、なるべく鋼製橋脚全体系を忠実にモデル化することで、現実的な水平 2 方向地震動を受ける鋼製橋脚全体系の地震時挙動特性について検討する。

2. 検討対象と解析のモデル化

本研究の検討対象は兵庫県南部地震以後の設計法により設計された図-1 に示される鋼製橋脚、アンカー部、杭基礎からなる鋼製橋脚全体系である。鋼製橋脚は無充填矩形断面、アンカー部は鉄筋コンクリート方式である。

解析のモデル化について説明する。解析ソフトは、非線形解析ソフト ABAQUS を使用する。数値解析に用いる鋼製橋脚の解析モデルとしては、橋脚躯体はシェル要素で離散化した有限要素モデル、アンカー部は Component method による 3 次元モデル、地盤は簡単なばねモデル (SR モデル) によりモデル化する。材料構成則は、橋脚(SM490)とアンカーボルト(S35CN)はバイリニア移動硬化則、フーチングコンクリート ($\sigma_{ck}=24(\text{N/mm}^2)$) は 3 次関数モデルとする。

検討方法として、アンカー部の損傷が全体系の挙動に与える影響を確認するため、ここでは簡易的にアンカー部と鋼製橋脚の耐力比を変化させて検討する。ここでのアンカー部の耐力は道路橋示方書³⁾によるレベル 2 地震動に対応した耐力、鋼製橋脚の耐力は Pushover 解析により求めた最大耐力である。検討モデルとして具体的には、アンカーボルトの断面積を 1.2 倍, 1.0 倍, 0.8 倍, 0.7 倍と変化したモデルを設定する(以下 A_{120} , A_{100} , A_{80} , A_{70})。このときの耐力比は 1.17~0.80 の範囲となり、兵庫県南部地震以前に建設された構造では実際に存在しうる範囲である²⁾。これらのモデルに静的解析により死荷重を載荷後、JRT 観測波を水平 1 方向, 水平 2 方向にそれぞれ入力し、複合非線形動的解析を実施する。このとき減衰は無視している。

4. 鋼製橋脚の地震時挙動にアンカー部が与える影響

A_{100} (標準), A_{70} (耐力比小)の 1 方向地震動下の橋脚頂部水平変位の時刻歴応答を図-2 に示す。図-2 には全変位成分と、その内の橋脚の変位成分, アンカー部の変位成分を示している。図-2(a), (b)を比較すると, A_{100} では橋脚による変位の影響が大きく, A_{70} ではアンカー部による変位の影響が大きいことが確認できる。また, A_{70} は A_{100}

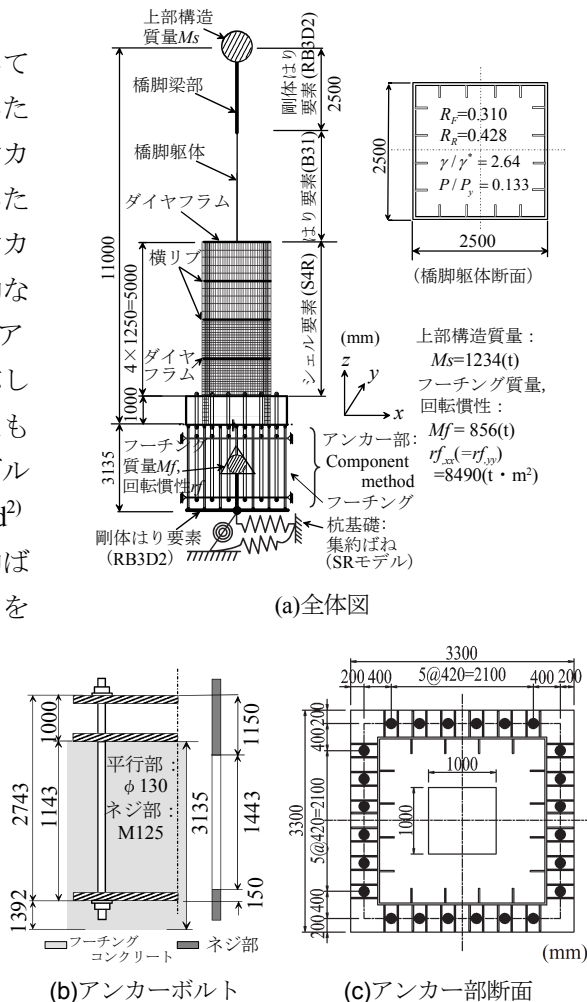


図-1 解析モデル

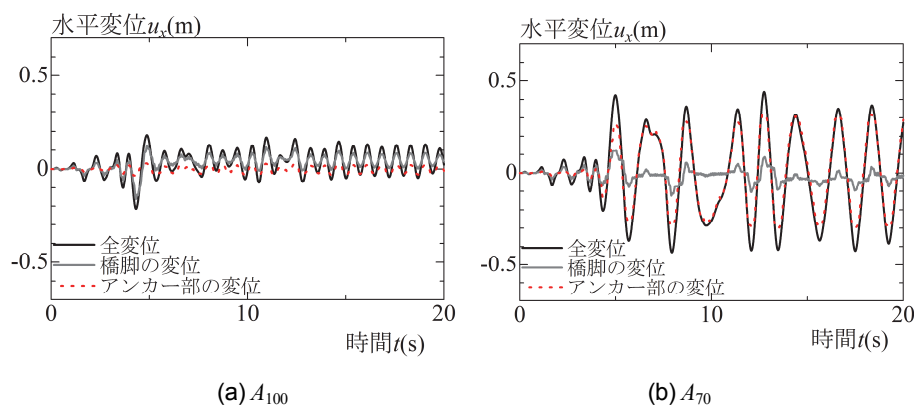


図-2 橋脚頂部水平変位の時刻歴応答(1方向)

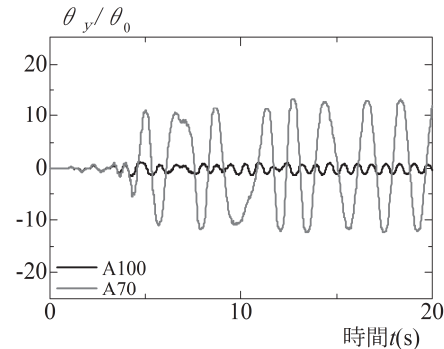


図-3 アンカー部の基部回転角の時刻歴応答の比較(1方向)

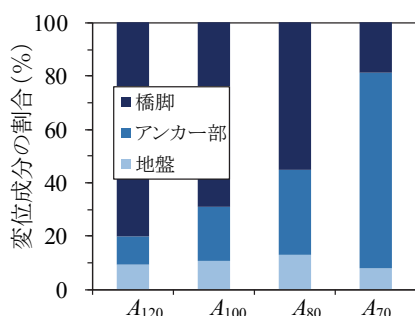
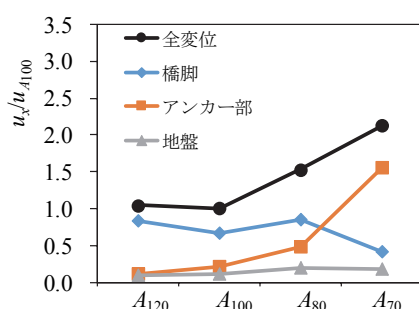
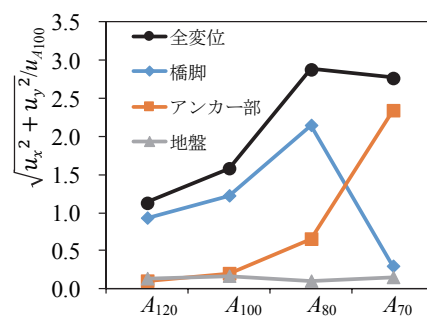


図-4 最大応答水平変位が生じるときの各変位成分の割合 (1方向)



(a) 1方向



(b) 2方向

図-5 最大応答水平変位の内訳 (1方向, 2方向)

と比較して、全変位成分が非常に大きく出ており、長周期で振動していることが確認できる。

図-3に A_{100} 、 A_{70} の1方向地震動下のアンカー部の基部回転角の時刻歴応答を示す。基部回転角は降伏回転角 θ_0 により無次元化している。図-3より、 A_{100} の基部回転角の応答値が小さいのに対して A_{70} の基部回転角の応答値が大きく、アンカー部には大きな損傷が生じていることが伺える。このようにアンカー部の損傷が大きくなると、図-2(b)に示されるように橋脚頂部の全変位成分も大きくなり、長周期で振動する。これはアンカーボルトのネジ部の塑性変形により橋脚躯体基部が十分に固定されていないためである。

図-4は1方向地震動下における $A_{120} \sim A_{70}$ の4つのモデルについて最大応答水平変位が生じた際の変位成分の割合を示している。図-4より、アンカーボルトの断面積が小さくなる（すなわち耐力比が小さくなる）につれて橋脚の変位成分の割合が低下し、代わりにアンカー部の変位成分の割合が高くなり、アンカー部の影響が支配的になることが確認できる。

図-5は1方向、2方向地震動下における最大応答水平変位を示している。最大応答水平変位は1方向の A_{100} の値（全変位）で無次元化している。図-5より、1方向、2方向のいずれにおいても A_{70} になると最大応答変位が増加しており、全変位に対してアンカー部による変位成分が大きな割合を示していることがわかる。特に2方向地震動下において、 A_{70} になるとアンカー部の影響が顕著に表れており、橋脚の変位成分は大きく減少するのに対し、アンカー部の変位成分は大きく増加している。

5. おわりに

本研究は、アンカー部の挙動を正確に考慮したモデルを用いて、1方向地震動下と2方向地震動下における鋼製橋脚全体系の地震時挙動特性について検討した。その結果、アンカー部の耐力が小さくなると鋼製橋脚全体系の挙動はアンカー部による影響が大きくなることがわかり、特に2方向地震動下でその影響は顕著であった。

参考文献

- 1) 後藤ら：アンカー部を考慮した1柱式鋼製橋脚の地震時終局挙動特性，土木学会論文集，No.598/I-44, pp.413-426, 1998.7
- 2) 水野ら：水平2方向繰り返しを受けるアンカー部の損傷が鋼製橋脚の終局挙動に及ぼす影響，土木学会論文集 A1，Vol.69, No.2, pp.295-314, 2013.
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，V 耐震設計編，2012.