

橋梁上に設置した TV 支柱の耐荷力評価に関する実験的検討

(一財) 阪神高速道路技術センター 正会員 ○宇野津 哲哉, 杉山 直也
 阪神高速道路株式会社 正会員 伊佐 政晃, 青木 康素

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震では、阪神高速道路の橋脚の倒壊や上部構造の落橋などの致命的な被害が生じたが、TV支柱についてもアンカーボルトの破断により倒壊する被害が生じた¹⁾。高架橋上のTV支柱の被害は、高架橋との共振により振動が増幅された可能性がある。TV支柱が被災することによって車両の通行が阻害されることや被災後の道路上の状況を正確に撮影することが困難となる可能性があり、その耐震性を評価し必要に応じて構造改良を図ることが重要である。そこで、現状一般的に採用している構造の模型供試体に静的正負交番載荷試験を実施し、その破壊順序、破壊形態及び非線形特性を把握した。また、実験による部材の破壊順序をFEAにより評価した。

2. 載荷試験概要

阪神高速道路では、TV支柱は高さ12m程度を標準としているが、実験では高さ2.3m程度までの供試体を製作し、ベースプレートから高さ2.0mの位置を載荷点として、正負交番載荷試験を行った。試験体略図を図-1に示す。繰り返し載荷回数は3回を基本とした。試験は、鉛直ジャッキにてTV支柱の自重に相当する鉛直荷重(23.1kN)を常時作用させながら水平ジャッキにて水平力を与えた。水平ジャッキの制御方法は変位制御とし、試験体上部に治具を接続して載荷させた。支柱部は直径 $\phi 406.4\text{mm}$ 、板厚 $t=19\text{mm}$ の鋼管、ベースプレートは $t=25\text{mm}$ の板材で構成しており、D25のアンカーボルト8本でコンクリート基礎に固定した。コンクリート基礎部はRC橋脚天端を模擬して設計基準強度 27N/mm^2 のコンクリートブロックとした。

3. 載荷試験結果とその評価

支柱、ベースプレート、リブ、アンカーボルトにおいて、図-1に示す位置で部材軸方向のひずみを計測した。アンカーボルトについては、ベースプレートの変形に伴って伸びることを想定し、鉛直変位を計測した。荷重と載荷点における水平変位の関係の実験結果を図-2に示す。4.0mmでアンカーボルト①の頂部が降伏ひずみに達したため $1\delta y$ を4.0mmとした。2 δy 載荷時にはベースプレートが変形し、アンカーボルト①頂部はベースプレートに引張り上げられ一時的に1.0mm伸びた。このとき、両端のアンカーボルト②③の頂部でも荷重を負担して降伏ひずみに達した。5 δy 載荷時にベースプレートが降伏ひずみに達し、9 δy 載荷途中の水平変位35mm時点でアンカーボルト①が11mm程度伸びたところで破断し、最大荷重191kNから荷重が急激に低下した。ただし、その他のアンカーボルトに荷重分散され、全体系としては倒壊に至るような致命的な破壊には至

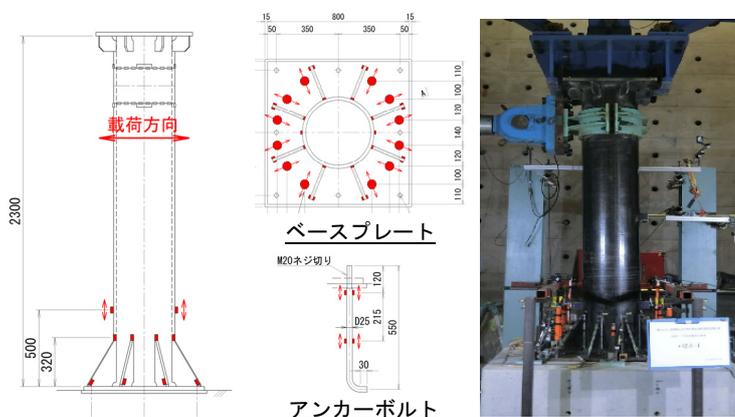


図-1 試験体概要と実験状況

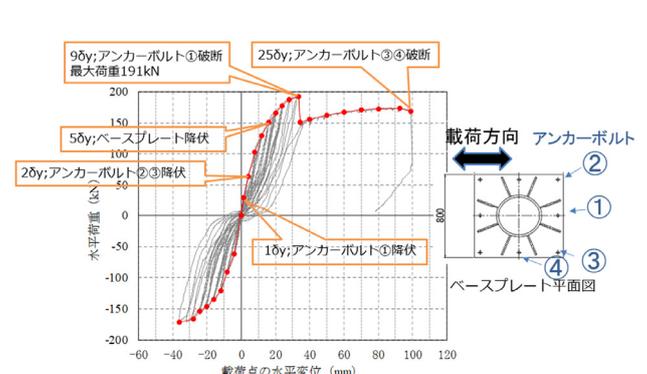


図-2 荷重-変位関係

キーワード TV支柱, 静的正負交番載荷試験, FEA, 耐荷力評価

連絡先 〒541-0054 大阪市中央区南本町4丁目5番7号東亜ビル内 TEL06-6244-6048

っており、抵抗荷重もその後微増ではあるが増加した。10 δy 以降は正側への強制変位を単調増加させて載荷し、最終的に 25 δy (100mm) まで載荷した時点でアンカーボルト③とその隣のアンカーボルト④が同時に破断し、大幅な耐力低下が生じ実験を終了した。支柱は最終荷重においても降伏ひずみに至らなかった。耐力評価としては、アンカーボルト①の頂部の破断で最大荷重は落ちるものの、他のアンカーボルトに分散されるため全体系としては粘り強いといえる。

4. 実験と解析の比較

解析は複合非線形解析とし解析プログラムに DIANA²⁾を用いた。FE モデルを図-3 に示す。ベースプレート、ワッシャー、ナット、アンカーボルト、コンクリート基礎を非線形ソリッド要素、支柱、リブは非線形シェル要素、コンクリート基礎内の鉄筋は非線形埋め込み鉄筋要素とした。コンクリートの応力ひずみ関係は、圧縮軟化モデルおよび引張軟化モデルを組み合わせたものとし³⁾、ひび割れモデルには分散ひびわれモデルを用いた²⁾。鉄筋および鋼材の応力ひずみ関係は、降伏応力度を折れ点としたバイリニアでモデル化し、二次勾配は解析計算の安定性に配慮して初期剛性の1/100とした。各部位の材料特性値には実強度を用いた。ベースプレートとコンクリート基礎の接触要素は、圧縮力には抵抗するが引張力には抵抗しないインターフェイス要素を用いた。外力は、一様に鋼管上部に死荷重を作用させながら水平変位を漸増載荷するプッシュオーバーとした。

図-4 に実験と解析の荷重点位置における荷重-水平変位関係を示す。弾性挙動範囲である 1 δy (アンカーボルト①が降伏ひずみに達する) までの水平荷重と水平変位の関係はよく再現できている。一方で、アンカーボルト①の降伏後 (図-5)、実験では解析と比較して剛性低下が見られた。ここで、図-4 に記載したアンカーボルト①伸び量と水平変位の関係から 2 δy まではアンカーボルト①の伸び量を解析で再現できているが、それ以降の伸び量の急増は再現できていない。この要因として、解析ではポアソン効果によるアンカーボルトの細りを反映できていないことが推察される。次に、損傷イベントの比較であるが、水平変位 4mm で実験結果と同様アンカーボルト①が降伏強度に達する結果となった。なお、実験後基礎コンクリートを切断し破断アンカーボルトを目視確認したが、アンカーボルトとコンクリートの付着切れもなく、ねじ切り部で変形が卓越していたことが分かった。

5. おわりに

TV 支柱の実験結果より、先にアンカーボルト①が降伏強度に達した。アンカーボルト①が破断後、その他のボルトに荷重分担し倒壊に至る破壊は生じないが、その後単調載荷するとアンカー③④が破断し荷重が急激に低下する結果となった。履歴形状はスリップ型の形状であり、非線形挙動は、支柱が降伏していないことから鋼製支柱本体の塑性化よりもアンカーボルトの塑性化が主体となっており、全体的に粘り強い構造であることが分かった。

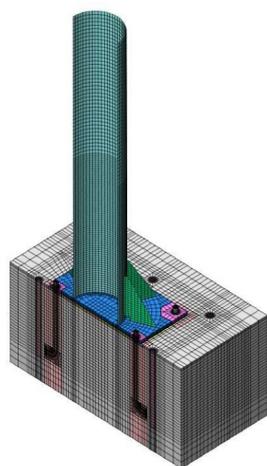


図-3 モデル概要

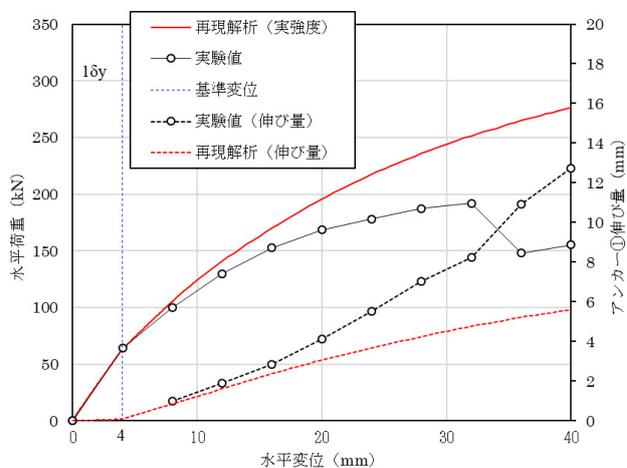


図-4 実験と解析の荷重-変位関係

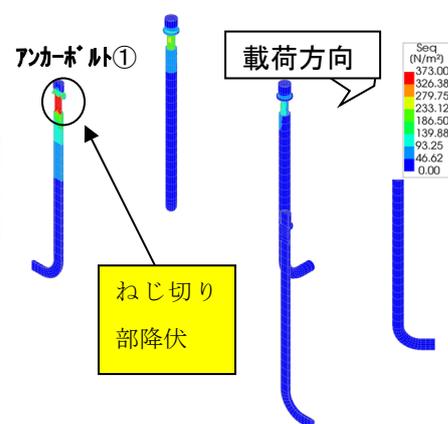


図-5 応力コンター図 (アンカー①降伏時)

参考文献 1) 阪神高速道路公団：大震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－，1997，2) DIANA User's Manual Release 10.2，3) 土木学会，2017年制定コンクリート標準示方書[設計編]