

橋梁上に設置した照明柱の耐荷力評価に関する実験的検討

阪神高速道路(株) 正会員 ○伊佐 政晃, 青木 康素

(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

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、照明柱についても路面から1~2mの位置に設けられた開口部（幅13cm、長さ60cm程度）での座屈変形の被害が生じた¹⁾。高架橋上の照明柱の被害は、高架橋との共振により振動が増幅された可能性がある。照明柱が被災することによって車両の通行が阻害されると、被災地への支援物資等の輸送遅延や緊急輸送路としての機能が制限されてしまう可能性があり、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、照明柱は高さ10m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た正負交番の載荷試験を行った。図-1に試験体略図と実験状況を示す。基礎部については、高速道路上の照明柱は幅250mmの壁高欄天端に設置されており、外力作用時にコンクリートで圧壊もしくはせん断破壊することも想定されるため、壁高欄を模擬したコンクリート基礎とした。試験は繰り返し載荷回数は3回を基本とし、鉛直ジャッキにて照明柱の自重に相当する鉛直荷重（0.92kN）を常時作用させ、水平ジャッキにて変位制御で水平力を与える。

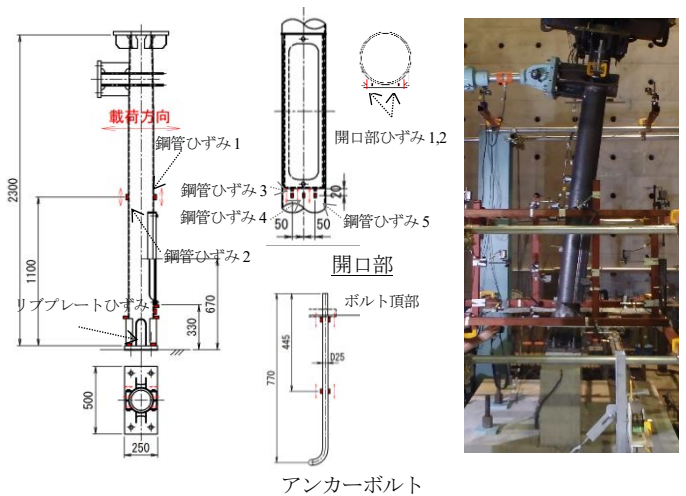


図-1 試験体概要と実験状況

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。壁高欄については、はらみだし挙動を高精度ラインセンサにより3次元的に計測した。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。水平変位35mmでアンカーボルト頂部が先に降伏し、これより基準とする水平変位 $1\sigma_y$ を35mmとした。ただし、 $1\sigma_y$ ずつ載荷させると損傷イベントを捉えられない恐れがあったため、 $0.5\sigma_y$ ずつの載荷とした。 $2\sigma_y$ 載荷でリブプレートが降伏ひずみに、 $3\sigma_y$ 載荷時に開口部の下側位置の鋼管3

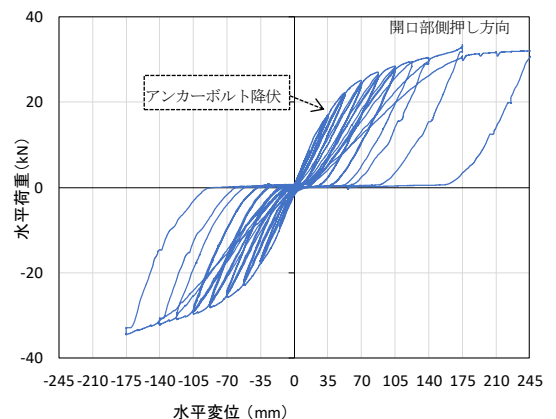


図-2 荷重-変位関係

および5で降伏ひずみを超える応答を示した。 $5\sigma_y$ 載荷以降は、1方向（押し側）への強制変位を単調増加させて載荷し、最終的に水平ジャッキのストローク限界である250mmまで載荷した。このとき、写真-1に示すように引張側でベースプレートが持ち上げられるように変形し、アンカーボルトは4本とも伸びていた。しかし、破断や開口部の座屈などの、荷重が急激に落ちるような事象は生じなかった。開口部上側の鋼管1, 2、開口部下側の鋼管4および開口部1, 2は最終時においても降伏ひずみに達しなかった。コンクリート壁高欄に着目すると、側面に曲げひび割れが見られたが、はらみだしの挙動は見られなかった。試験終了時の荷重は31.0kNであり、荷重-変位曲線は原点に戻る挙動を示し

キーワード：照明柱、静的正負交番載荷試験、FEA、耐荷力評価

連絡先：〒530-0005 大阪市北区中之島3-2-4 中之島フェスティバルタワー・ウエスト TEL：06-6232-6545

た。耐荷力評価としては、先にアンカーボルトが降伏し塑性変形するが、全体系として脆性的に倒壊に至ることはなかった。兵庫県南部地震時に開口部で座屈する現象が見られたが、今回の実験で座屈しなかったのは当時より開口部が補強された構造を採用しているためと推察される。

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、コンクリート基礎は非線形ソリッド要素とし、支柱、リブ、開口部は非線形シェル要素とした。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とし、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。各部位の材料物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。外力は開口部方向へのプッシュオーバーとした。

図-4 に実験と解析の荷重-水平変位関係を示す。ここでは、はじめに降伏したアンカーボルトに着目した。図より、FEA (青線では18.5kN 載荷時に水平変位43mmでアンカーボルトが降伏するのに対して、実験(黒線)では少し早く降伏する。また剛性も解析の方が小さい。これは、解析では図-5に示すように開口部付近にも応力が集中しており、アンカーボルトに荷重が伝達されるのが遅れるためと推察される。一方で、実験では正方向、負方向のどちらでも荷重-水平変位関係の履歴がほぼ同じであり、開口部がない無垢な鋼管と同等の挙動となっている可能性がある。そこで、開口部を設けない鋼管とした場合のFEA (赤線)を実施した。このとき、19.2kN 載荷時に水平変位38mmでアンカーボルトが降伏する結果となり、実験でアンカーボルトが降伏する35mmまでの初期剛性は実験結果をよく再現できている。実験と解析より、載荷初期の鋼管変形は開口部による剛性低下の影響はなく、開口部方向と開口部逆方向で同様の挙動を示した。

5. おわりに 照明柱の実験結果より、先にアンカーボルトが降伏に達した。試験終了時にはアンカーボルトの破断や開口部の座屈などの荷重が急激に落ちるような事象は生じなかった。構造としての限界状態はアンカーボルトの降伏が先行することが明らかとなった。壁高欄コンクリートにははらみだし挙動は見られず、脆性的な破壊は生じなかった。

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]



写真-1 ベースプレートの変形 (左) とアンカーボルトの伸び (右)

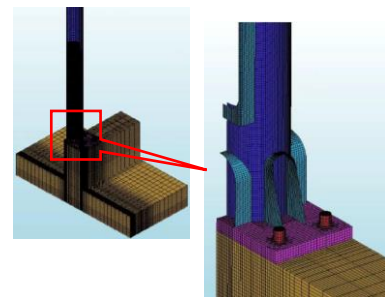


図-3 モデル概要

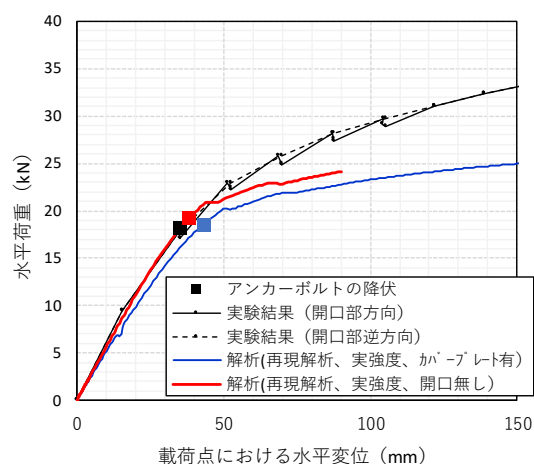


図-4 実験と解析の荷重-水平変位関係比較

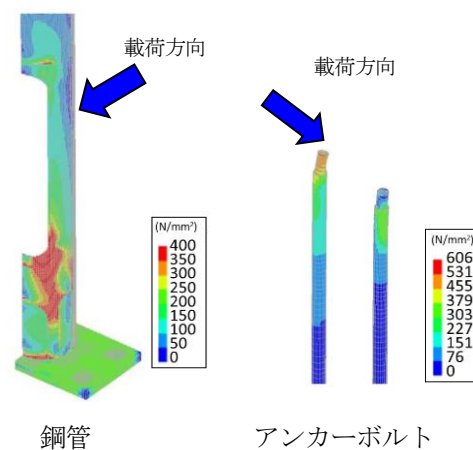


図-5 応力コンター図