

高変形能ボルトを用いた柱基部定着構造に関する基礎的研究

片山ストラテック株式会社 正会員○中野 貴史 大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司
大阪市立大学大学院 正会員 北田 俊行 株式会社酒井鉄工所 正会員 石崎 茂
株式会社酒井鉄工所 正会員 興地 正浩

1. はじめに 照明柱や標識柱，さらにこれより大型の鋼製橋脚柱など，エンドプレートとアンカーボルトを介してフーチング・コンクリートに定着される基部構造を有する鋼構造物は多数存在する．中でも，鋼製橋脚柱については，その重要性から，基部の力学的挙動を明らかにすべく，実験と解析との両面から様々な検討が行われており，それらの成果がその設計に反映されている．一方，照明柱や標識柱などの付属構造物については，これまであまり注目されておらず，その力学的特性を詳細に把握するには至っていない．これらの基部定着構造の終局状態に至るまでの挙動の詳細な解明にあたっては，異種材料の接合部・接触部であるアンカーボルト，フーチング・コンクリート，そしてエンドプレートとの間の荷重伝達のしくみを明らかにする必要がある．

本研究では，アンカーボルトに着目し，基部定着構造の力学的特性を実験的に検討する．また，基部全体のエネルギー吸収能の改善を目的として，高いエネルギー吸収能を有する高変形能ボルトの適用を試みた．

2. 基部構造実験の概要 本研究で行った実験の概要を図-1 に示す．本研究では，図-1 に示す載荷装置を用いて供試体に曲げモーメントを載荷している．設定した供試体の内訳を表-1 に，供試体概形を図-2 に示す．アンカーボルトには載荷装置の制約から M24 を用い，挙動を簡単にするため腹板側にはアンカーボルトを配置していない．ここで，SP-3 および SP-4 の軸力比とは，柱に作用する鉛直荷重（以下：死荷重）を想定したもので，供試体の中立軸に鋼棒(M36)を設置し，このボルトにアンカーボルトの降伏荷重のそれぞれ 30%と10%に相当する荷重をナットをしめることで導入した．

本研究では，基部定着部の非線形挙動に着目するため，いずれの実験供試体においても，アンカー部の耐荷力が柱断面の耐荷力よりも小さくなるように断面が決定されている．

実験では，単純支持を仮定して算出される曲げモーメントより，柱部材が降伏するたわみ量 δy を求め，この δy を基準に，両振りの繰り返し鉛直変位をアンカーボルトが破断するまで与えた．載荷は，基準降伏変位 δy の $\pm 0.5, \pm 1, \pm 2, \cdots \pm n$ 倍の変位を 3 サイクルずつ与えている．ただし，SP-2 および SP-4 は，載荷装置の制約上 $10 \delta y$ までで載荷を中止した．

3. 実験結果と考察 各供試体の荷重-変位曲線を図-3 に示す．また，各実験供試体の最大荷重，最大荷重時の鉛直変位，およびエネルギー吸収能を表-2 に示し，表-3 には，各供試体のアンカーボルトの予想降伏荷重，および実験より得られた降伏荷重をまとめている．ここで，予想降伏荷重とは，単鉄筋モデルの計算により算出した．また， P_Y は，アンカーボルトに貼り付けたひずみゲージ

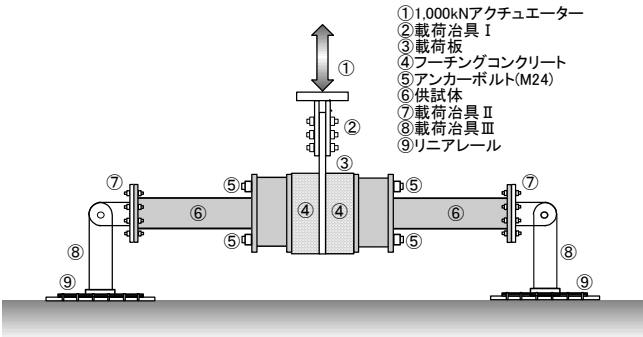


図-1 実験の概要
表-1 各実験供試体の特徴

実験ケース	軸力比	アンカーボルトの種類(M24)	アンカーボルトの初期導入軸力(一本当たり:86kN)	載荷方法
SP-1	0	通常	有り	繰り返し漸増載荷
SP-2	0	高変形能	有り	繰り返し漸増載荷
SP-3	0.3	通常	有り	繰り返し漸増載荷
SP-4	0.1	高変形能	有り	繰り返し漸増載荷

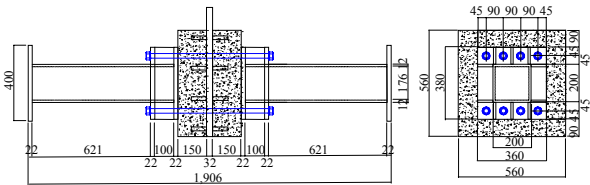


図-2 供試体寸法(単位：mm)

が塑性化した時点での載荷荷重である．これより，高変形能ボルトを用いた SP-2 および SP-4 は，予想降伏荷重の約 1.2 倍程度であるが，通常のボルトを用いた SP-1 および SP-3 は，1.7 倍まで向上している．これらの結果から，ねじ部の実際の有効断面積は，JIS の規格よりも大きい値であると考えられる．このことが，強度の違いに影響を与えていると言える．

表-2 の最大荷重は，図-3 の第 1 象限と第 3 象限の絶対値の平均値であり，鉛直変位は最大荷重時の変位量の絶対値を平均したものである．また，エネルギー吸収能は，図-3 に示した荷重-変位曲線で囲まれる面積に台形公式を用いて積分したものをエネルギー吸収能と定義し，算出した．SP-1，SP-3 はアンカーボルトの破断までを算出し，SP-2，SP-4 はアクチュエーターのストロークの制約上 $10\delta_y$ までを算出した．

全ての供試体で，鉛直変位量が約 60mm 程度で最大荷重となっている．SP-1 は，耐荷力が低下することなく，鉛直変位約 60mm でアンカーボルトのナットの抜け出しにより，終局状態に至った．SP-3 は，鉛直変位約 70mm で，SP-1 同様に，アンカーボルトのナットの抜け出しにより，終局状態に至った．死荷重を考慮した軸力を導入した SP-3 の最大荷重は，死荷重を考慮していない SP-1 と比較して，約 1.15 倍に向上している．これは，中立軸に配置した軸力導入用鋼棒(M36)による拘束によっても強度上昇が引き起こされたためと考えられる．

また，高変形ボルトを使用した SP-2 では，SP-1 に比較して，最大荷重が約 8 割程度まで低下している．しかし，最大荷重到達以降は，アンカーボルトの軸平行部の塑性変形が卓越するため， $10\delta_y$ まで載荷を行っても終局状態には至らなかった．SP-4 は，SP-1 と SP-3 の関係と同様に，SP-2 に比較して最大荷重が約 1.14 倍向上しているが，これは，上記と同様の理由と考えられる．

表-2 より，SP-2 および SP-4 は， $10\delta_y$ までのエネルギー吸収能であり，破断までのエネルギー吸収能は，さらに高い値であると予想できるが， $10\delta_y$ までの場合においても SP-2 は，SP-1 の約 1.6 倍に，SP-4 は SP-3 の約 1.2 倍とエネルギー吸収能は大きく改善されている．これは，軸平行部を細くすることで，通常のボルトと比較して変形性能がねじ部のみにとどまらず，軸平行部でも高い変形性能を有するためである．また死荷重を考慮した軸力を導入した SP-3 および SP-4 は，死荷重を考慮していない SP-1 および SP-2 よりもエネルギー吸収能は高い値となっている．これは，軸力を導入することで，基部全体の強度が上昇するためである．

4. まとめ 鉄筋コンクリート方式の基部定着構造のアンカーボルトに高変形能ボルトを用いることで，その変形性能は大きく改善される．今回の実験では，軸平行部を 21mm まで切削したボルトをアンカーボルトに用いた場合，強度は，8 割程度まで低下するが，エネルギー吸収能は，逆に向上した．

参考文献 1) 迫田治行：鋼アーチ系橋梁および鋼製橋脚基部定着部の兵庫県南部地震での損傷事例の原因究明と耐震性評価法に関する研究，大阪市立大学博士論文，2000．4．

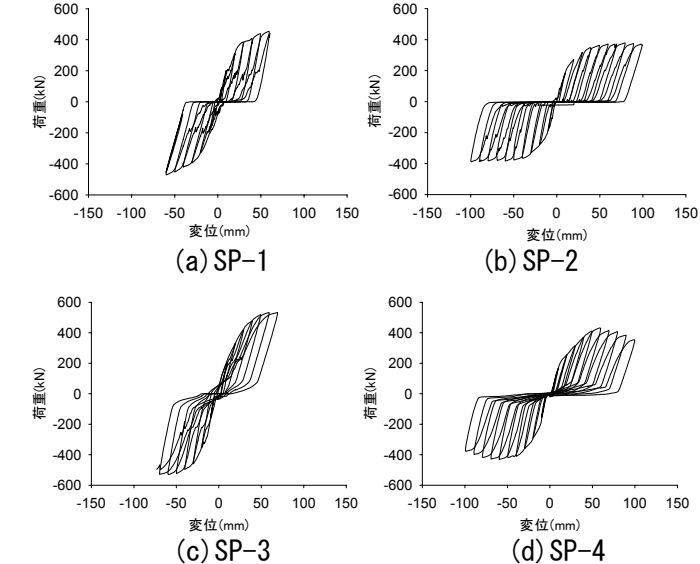


図-3 荷重—変位曲線

表-2 最大荷重およびその時点の変位量

	最大荷重(kN)	変位量(mm)	エネルギー吸収能(kN・mm)
SP-1	462.84	59.29	39548
SP-2	377.98	59.70	63591
SP-3	531.59	59.27	55018
SP-4	431.43	59.33	67740

表-3 アンカーボルト降伏荷重(単位：kN)

	SP-1	SP-2	SP-3	SP-4
予想降伏荷重 (有効断面積) P_{Y1}	2.18×10^5	2.18×10^5	2.18×10^5	2.18×10^5
予想降伏荷重 (軸平行部径) P_{Y2}	2.92×10^5	2.14×10^5	2.92×10^5	2.14×10^5
実験結果より得 られた降伏荷重 P_Y	3.73×10^5	2.69×10^5	3.64×10^5	2.68×10^5