

特集：道路橋示方書の改定と関連する道路橋の調査研究

# 施工性の向上や施工品質の確保に関する調査研究と改定

中谷昌一\* 玉越隆史\*\* 遠山直樹\*\*\* 宮田弘和\*\*\*\* 西田秀明\*\*\*\*\* 堺 淳一\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

安全性や耐久性など道路橋において所要の性能を確保するためには、設計のみならず施工が適切に行われ、所定の品質等が確保されることが不可欠である。適切な品質確保が行われなければ、地震時などを含む供用中に不具合が生じる場合がある。

施工品質を確保するためには、実際の施工状況を勘案して施工性に優れた構造等とすること、所要の品質が確保されるよう適切な材料等を選定し所定の方法により施工して検査により品質を確認すること、特に地中部の部材のように品質確認が困難な部位では所定の品質が確保される施工管理方法をあらかじめ明らかにしてプロセス管理を行うことなどが必要となる。本報では、施工性の向上や施工品質の確保に関して国土技術政策総合研究所及び(独)土木研究所で行った主な検討内容とそれを踏まえた道路橋示方書の改定事項について示す。

## 2. 施工性の向上に関する改定

### 2.1 従来より降伏点強度の高い鉄筋の採用<sup>1),2)</sup>

平成7年兵庫県南部地震を受けて改定された平成8年道路橋示方書以降、レベル2地震時に対する設計の全般的な導入に伴い鉄筋コンクリート部材での必要鉄筋量が増加し、配筋の過密化が施工上の課題となっていた。このため、実態調査や実験的検討の成果等を踏まえて、従来より降伏点強度の高い鉄筋（SD390及びSD490）を新たに規定した。

橋脚柱や場所打ち杭の軸方向鉄筋等に関しては、SD490を用いた部材模型に対する正負交番繰り返し荷重実験・解析等を行い、損傷の進展状況、塑性変形能、エネルギー吸収能などについてSD345を用いた場合の結果と比較しつつ検証を行った。

橋脚柱では、耐震設計編における曲げ破壊型の

鉄筋コンクリート橋脚の限界状態に相当する変位の算出方法を見直した。この際、軸方向鉄筋にSD490やSD390を用いた場合の適用性についても実験による検証を行い、この算出方法が軸方向鉄筋にSD490やSD390を用いた場合に対しても適用できることを確認した。基礎における許容塑性率は、基礎に生じる損傷が橋としての機能の回復が容易に行いうる程度に留まるように、基礎が最大強度を発揮している状態を超えず、地震時の繰返し荷重に対して復元力が安定して得られ、基礎本体の損傷や地震後の沈下・傾斜が過大でない範囲で定める必要がある。場所打ち杭の軸方向鉄筋の高強度化に伴い同一塑性率での変形量が相対的に大きくなり、かぶりコンクリートの剥落や軸方向鉄筋の拔出しなど損傷程度が変わることを繰返し載荷実験により確認したことから、下部構造編において例えば橋脚基礎に適用する場合の許容塑性率の目安を2と小さくしている（図-1）。

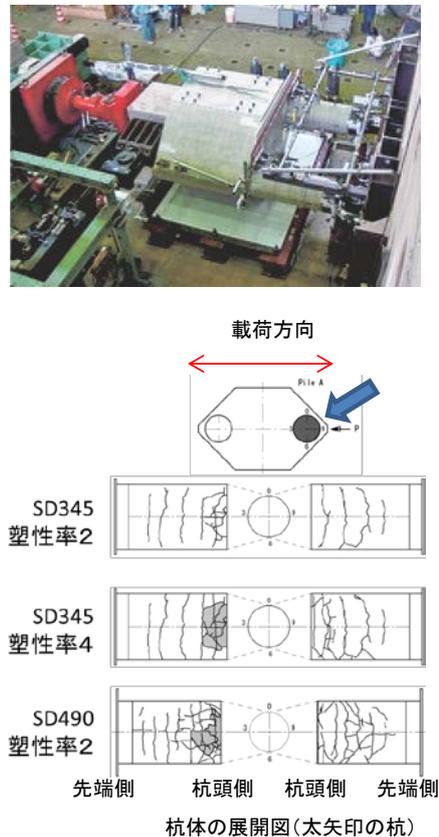


図-1 場所打ち杭模型の交番繰返し載荷実験における各塑性率での損傷状況

Revision of "Specifications for highway bridges" towards reservation and improvement in construction quality



写真-1 杭外周部への溶接による補強鉄筋の施工例

鋼管杭の杭頭補強鉄筋<sup>\*</sup>では、杭外周部に溶接して取り付けて必要な強度を確保する必要があるが、溶接は鉄筋が錯綜しているうえ溶接姿勢が悪いなど、安定した施工品質の確保が容易でなかった（写真-1）。このため、関係技術協会との共同研究においてSD490やSD390の杭頭補強鉄筋への適用に関する検証実験を行い、こうした鉄筋の適用により杭頭補強鉄筋を杭外周部に溶接することなく、杭体内に配置することにより所定の強度を確保することを可能とした（下部構造編）。

また、ラーメン橋脚の柱はり節点部に関しては、SD490を適用した場合に軸方向鉄筋の本数が減少するため、柱はり節点部の剛性が十分に大きい部位と扱うことができなくなるおそれがあった。このため、交番繰返し載荷実験を行い、荷重-変形関係や破壊特性などの力学的特性はSD345を適用した場合と同様であり、従来同様剛性が十分に大きい部位として取り扱うことができることを検証した。なお、これら降伏点強度の大きい鉄筋を用いた実験では、鉄筋とコンクリートとの付着特性など力学的特性を考慮して、鉄筋とコンクリートの強度比が従来と同程度となるよう設計基準強度 $30\text{N/mm}^2$ 以上のコンクリートを用いている。このため、今回解説においてもSD490やSD390を用いる場合には設計基準強度 $30\text{N/mm}^2$ 以上のコンクリートを用いるのがよいとした。

軸方向鉄筋にSD490やSD390を用いる場合のレベル1地震時等における許容応力度については、SD345と同等の安全余裕度が確保される値として、SD345よりも大きな値を規定した。一方で、上部構造や橋脚のはりのように活荷重及び衝撃以外の主荷重が作用する場合の許容応力度については、耐久性の観点からひび割れの影響を考慮して、

SD390やSD490を用いる場合でもSD345と同じ値とした。同様に、荷重の組合せに衝突荷重又は地震の影響を含まない場合の許容応力度についても、SD390やSD490を用いる場合でもSD345と同じ値とした。また、せん断補強鉄筋等、軸方向鉄筋と異なる鉄筋にSD390やSD490を用いる場合に対しては、道路橋示方書で示すせん断耐力等の評価方法の適用性がまだ十分に検証されていないため、許容応力度はSD345と同じ値としている。

## 2.2 鉄筋の定着及び継手構造の規定の充実

配筋の過密化や鉄筋の太径化への対応として、近年、定着体や機械式継手を開発・適用する事例が見られてきている。しかし、何を検証すれば道路橋に適用できるのか、どのような条件でどのような部位に適用できるかなどが明らかでなく、適用に際しての課題となっていた。このため、定着構造や継手構造に求めるべき性能や定着体等の適用性を明らかにすることを目的として、既往の研究成果の分析、施工実態調査、検証実験等を行った<sup>3)</sup>。

検証結果に基づき、定着構造については、求められる要件のほか、定着板等の定着体を用いた場合の定着長の考え方やせん断補強鉄筋としてフーチングや柱部材の中間帯鉄筋に適用できることを下部構造編に示した。フーチングに定着体を用いて配筋した事例を写真-2に示す。鉄筋が錯綜している箇所ではフックをかけることは容易ではないが、定着体を用いることで施工性の向上が期待できる。継手構造については、求められる要件を記述したほか、圧接継手及び機械式継手の適用上の留意点や、施工実績調査を踏まえてまとめた一般的な施工条件での継手の選定（下部構造編巻末参考資料）などについて示している。

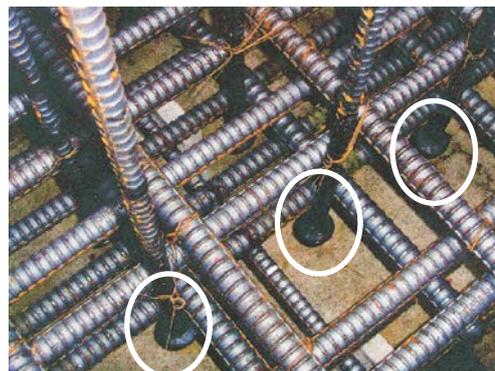


写真-2 定着体を用いた配筋の事例(丸囲み部)

<sup>\*</sup>土木用語解説：杭頭補強鉄筋

### 3. 施工品質の確保に関する改定

#### 3.1 溶接時の施工品質の確保

##### (1) 鋼構造部材溶接時の施工品質

これまで既設橋の様々な部材、部位において、溶接継手部の疲労損傷が報告されており、溶接時の施工品質に起因する損傷事例もみられる。施工品質の確保に関しては、事務連絡「鋼製橋脚隅角部を対象とした品質確保の徹底について」（国土交通省道路局、平成14年9月）がなされているが、それ以降も不具合事例が報告されている。

今回の改定では、関係業界団体、管理者等へのヒアリングや施工事例の調査等を踏まえ、良好な溶接品質が確保できるよう、溶接線の交差箇所における溶接施工順序や開先形状、また、裏はつりの実施やエンドタブ（溶接始末端部に生じやすい溶接欠陥が溶接線内に入らないよう始末端部に取り付ける補助板）の使用といった溶接施工時において配慮すべき事項に関して鋼橋編の条文・解説の充実を図った。

また、完全溶込みの突合せ溶接継手の内部きずに対する超音波探傷試験について、従来、（社）日本非破壊検査協会によって認定された有資格者によることが解説で示されていた。今回の改定では非破壊試験の品質を確保するため、また、非破壊試験の資格認証がJIS化された（JIS Z 2305（非破壊試験－技術者の資格および認証））ことを受けて、外部きずおよび内部きずに対して非破壊試験を行う者が有していなければならない資格を鋼橋編に規定した。

##### (2) 既製杭溶接時の施工品質

既製杭の現場溶接継手についても、施工品質確保の観点から下部構造編において規定や解説の充実を行った。上部構造等の鋼部材と異なり、コンクリート杭の場合には構造上の理由から内部きずを非破壊検査により確認できないこと、鋼管杭の場合でも地中部への打設の途中で溶接を行うことから内部きずの全数調査が困難であるという問題がある。一方で、一般に溶接姿勢が良好で溶接手順も一定であることや近年施工管理方法が改善されていることから、適切な方法によりプロセス管理ができれば、一定の品質が確保されることが想定される。このため、鋼管杭については内部きずの検査結果に関する実態調査、コンクリート杭に

については現場溶接した杭継手部の曲げ試験による性能検証と溶接部を取り出しての内部きずの確認調査を行った。これらの調査結果から、適切なプロセス管理により良好な施工品質が確保されることを確認した上で、溶接工や管理技術者に求められる要件、作業条件、施工方法、検査・記録方法といった前提となる施工管理に係る規定や解説を充実した。また、示方書の改定と合わせて（社）コンクリートパイル建設技術協会及び（社）鋼管杭・鋼矢板技術協会における施工管理要領の見直しを行い<sup>4),5)</sup>、規定に対応した施工管理が行われるよう取り組んでいる。

#### 3.2 基礎施工時の不具合への対応

近年報告されている基礎の施工時に生じた杭の沈下や鉄筋かごの崩落、漏気などの工事時の不具合事例に対して、各基礎工法の関係技術協会等と原因究明を行ったうえで、不具合を防ぎ品質が確実に確保される調査・検討方法、施工管理方法を明らかにし、規定や記述の見直し・充実を行った。また、示方書の改定と合わせて関係技術協会から発刊する施工要領等についても見直しを行い、施工関係者への周知を図ることにより、こうした不具合の再発防止に取り組んでいる。

場所打ち杭については、軟弱地盤にオールケーシング工法で場所打ち杭を構築した際に杭の細りが生じる事例が散見されることをうけて、杭施工の実態調査を行い、細りが生じる地盤や施工等の条件、細り発生のメカニズムなどを分析した（写真-3）。この結果、例えば杭径不足量30mm以上の杭の細りが生じるのは杭頭付近の地盤がN値1以下または粘着力30kN/m<sup>2</sup>未満の粘性土である場合がほとんどであることを明らかにし<sup>6)</sup>、この結果等を踏まえて杭の細りを防ぐための留意点や対策、N値1以下の軟弱粘性土では他の工法の適用を検討するのがよいといったことを示した。また、地下水流による出来形不足や品質不良、鉄筋建込み時の傾斜による出来形不足についても原因を究明し、こうした不具合が生じないための留意点等を示した。

プレボーリング杭工法については、関係技術協会との共同研究で実施した原位置載荷実験等により大地震時の挙動等に関する検証を行った<sup>7)</sup>。レベル2地震時のように大きな変位を生じた場合、杭頭部付近のソイルセメントが部分的に破壊して



写真-3 場所打ち杭の細りの事例



写真-4 深礎基礎の鉄筋崩落事故

水平抵抗が変化することなどが明らかとなったことから、下部構造編に示す仕様や施工管理方法を見直した。同時に、コンクリートパイル建設技術協会が発行する施工要領についても見直しを行い<sup>8)</sup>、講習会を通じて全国に周知が図られている。例えば、確実にせん断力が伝達されるようにするため、ソイルセメントの一軸圧縮強度を従来よりも高い $1.5\text{N/mm}^2$ に見直している。

また、深礎基礎に関しては、鉄筋組立て時の崩落事故を踏まえ（写真-4）、適切な仮設計画のもと圧縮力を支持できる形鋼を組立用鋼材として用い堅固に組立てるなど適切に施工が行われるための規定や解説をした。採用する土留構造に応じた施工上の留意点についても具体的に記述した。

#### 4. おわりに

今回の改定では、例えば本特集の別報告で示しているPCグラウトの施工品質確保のための規定の充実など、本報以外にも施工性の向上や施工品質の確保に係る規定等の見直し・充実を行っている。今後も引き続き、永く社会を支える品質のよい構造物の施工が行われるようにさらなる施工性の向上や施工品質の確保に資する研究開発を行っていきたい。

#### 参考文献

- 1) (独)土木研究所、(社)鋼管杭・鋼矢板技術協会、(社)コンクリートパイル建設技術協会：杭基礎の大変形挙動後における支持力特性に関する共同研究報告書(杭頭結合部に関する研究)、共同研究報告書第433号、2012.3
- 2) 張広鋒、星限順一、堺淳一：軸方向鉄筋にSD490を適用したRCラーメン橋脚柱はり節点部の正負交番荷重下の破壊特性、土木学会第67回年次学術講演会、(投稿中)
- 3) (独)土木研究所：鉄筋コンクリート構造物の施工性を考慮した構造細目の検討、土木研究所資料第4143号、2009.6
- 4) (社)コンクリートパイル建設技術協会：道路橋における既製コンクリート杭の現場溶接継手作業要領、2012.3
- 5) (社)鋼管杭・鋼矢板技術協会：道路橋における鋼管杭現場縦継ぎ溶接作業要領、2012.3
- 6) (独)土木研究所：オールケーシング工法を用いた場所打ち杭の出来形に関する調査、土木研究所資料第4098号、2008.3
- 7) (独)土木研究所、(社)コンクリートパイル建設技術協会、(社)鋼管杭・鋼矢板技術協会：杭基礎の大変形挙動後における支持力特性に関する共同研究報告書(その1(試験結果))、共同研究報告書第418号、2011.3
- 8) (社)コンクリートパイル建設技術協会：COPITA型プレボーリング杭工法の施工ガイドライン(土木)、2012.3

中谷昌一\*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所地質・地盤研究グループ長  
Dr. Shoichi NAKATANI

玉越隆史\*\*



国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室長  
Takashi TAMAKOSHI

遠山直樹\*\*\*



独立行政法人土木研究所構造物メンテナンス研究センター 主任研究員  
Naoki TOYAMA

宮田弘和\*\*\*\*



独立行政法人土木研究所構造物メンテナンス研究センター 研究員  
Hirokazu MIYATA

西田秀明\*\*\*\*\*



独立行政法人土木研究所構造物メンテナンス研究センター 主任研究員  
Hideaki NISHIDA

堺 淳一\*\*\*\*\*



独立行政法人土木研究所構造物メンテナンス研究センター 主任研究員、博(工)  
Dr. Junichi SAKAI