

# 鉄道構造物に対する近接施工時の影響評価法の検討

Examination of Influence Evaluation by Neighboring Construction for Railway Structure

澤田 亮 (さわだ りょう)

㈲鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 主任研究員

桐生 郷 史 (きりゅう さとし)

㈲鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 研究員

## 1. はじめに

既設の鉄道構造物に近接して直接基礎や杭基礎などを施工する場合には、既設の鉄道構造物の安定性や列車の走行性に及ぼす影響について評価し、その結果に基づき様々な対策を講じている。しかし、実際の施工事例では、既設構造物の影響範囲内に場所打ち杭などを施工した場合に大きな変状を生じた例は少なく、過度に安全側の評価となっていることが指摘されている。

近年では、都市部において鉄道構造物に近接して場所打ち杭などを施工する事例が増加しており、適切な影響評価を実施することは工事の合理化や経済性を追求する上で重要な課題となっている。

本論文では、既設の直接基礎や杭基礎に近接して場所打ち杭を施工する際の影響程度について、模型基礎の載荷試験および数値解析により検討した結果を報告する。

## 2. 鉄道における近接施工時の影響評価の現状

鉄道構造物に近接して構造物を施工する際は、地盤条件や既設と新設の構造物の距離などを指標にして、既設構造物の安定性等に影響を及ぼす範囲内での施工かで影響程度の判定を行っている<sup>1),2)</sup>。例えば、図-1に示すように場所打ち杭を近接して施工する場合には、孔壁が崩壊した際の掘削底からのすべり破壊を考慮して既設構造物との位置関係から影響の有無を判断している。影響範囲は3段階に区分され、制限範囲となる場合には、補助工法の併用などによる対策を実施することとしている。

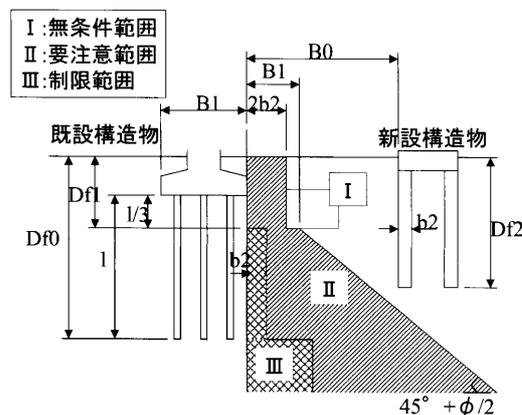


図-1 場所打ち杭の近接範囲 (既設が杭基礎の場合)

## 3. 近接施工時における支持力性状の検証

既設の直接基礎および杭基礎に近接して場所打ち杭が施工された場合の支持力性状に関して模型基礎の載荷試験を実施することで検証した。

載荷試験は、図-2に示すように鋼製フレーム付きの亚克力土槽 (幅2000mm, 奥行き600mm) に珪砂6号で相対密度60%の地盤を作製し、中央部に実物の約1/50程度の模型基礎を設置して実施した。載荷方法は、基礎模型の近傍で場所打ち杭の施工を模擬して地盤を削孔した状態で、模型基礎の中心に鉛直荷重を載荷速度1mm/minの変位制御とした。ここで、既設の直接基礎模型は100mm×100mm、杭基礎模型は杭径20mm、杭長450mmの群杭 (4本杭) で杭間隔を100mmとして群杭効果の影響がないものとした。

また、新設される場所打ち杭の杭径は20mmとし、工種としてオールケーシングおよび泥水掘削を考慮し、それぞれポリカーボネイトと普通紙で削孔時の孔壁を保護して孔壁剛性の違いを模擬した。

### 3.1 直接基礎の支持力性状<sup>3)</sup>

直接基礎に近接して場所打ち杭を施工する際の孔壁剛性の違いによる影響に着目した結果を図-3に示す。こ

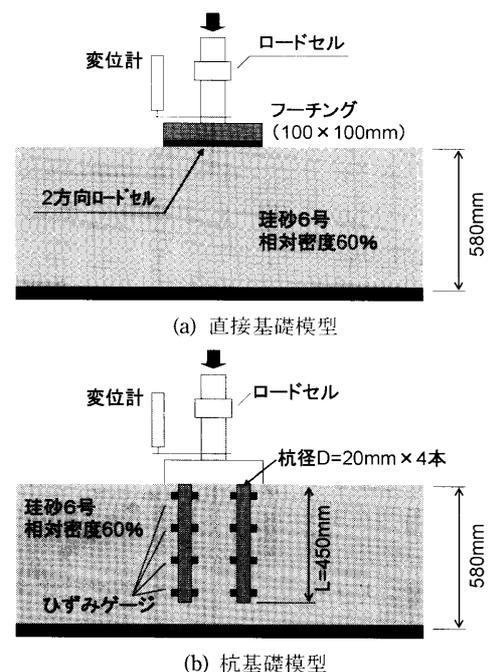


図-2 模型基礎載荷試験の概要

論文

ここで、いずれも近接距離は $1D$  ( $D$ : 新設される杭径)で、現状の評価結果では制限範囲となる位置に杭が施工される条件である。これによると、極限支持力は約 $600N$ 程度であり、孔壁剛性が大きい場合は非掘削時の支持力とはほぼ同程度で、剛な補強材が設置された状態と同等の効果が発揮されたことが推察される。また、孔壁剛性が小さい場合には支持力が若干低下していることがわかる。この要因としては、載荷後に孔壁の形状が楕円形に変形していたことが確認されており、載荷により地盤が変形した影響で孔壁が変形したためと考えられる。

図-4には孔壁の崩壊を模擬し、既設構造物からの距離に着目した結果を示す。近接距離が $2D$ の場合では、荷重と変位の関係は非掘削時とはほぼ同程度である。近接距離が $1D$ では、常時、一時荷重を想定した極限支持力 $600N$ の $1/3$ である $200N$ 程度で支持力が $10\%$ 程度低下しているが、いずれも大差のない結果となっている。

これらより、直接基礎の支持力分布が3次元的な広がりを持つものに対して、場所打ち杭のような円形掘削では削孔による影響範囲が狭いため、孔壁剛性や孔壁崩壊が支持力に与える影響は小さいと考えられる。

3.2 杭基礎の支持力性状<sup>4)</sup>

孔壁剛性の違いによる影響を検証した結果を図-5に示す。杭頭荷重と沈下量の関係によれば、剛性が小さい条件でも非掘削時よりも大きな支持力を発揮しており、孔壁が健全であれば、直接基礎と異なり剛性の違いによる影響は小さいと考えられる。なお、沈下量が杭径の $10\%$ となる時点

を極限支持力とすると、そこに至るまでの挙動は、本試験ではほぼ弾性的であることが分かる。  
また、孔壁の崩壊を模擬し、近接距離の影響を把握するために距離が $1D$ の場合と $2D$ の場合の検証を行った。ここで、 $2D$ については同心円上に2箇所的位置で検証し、3次元的な影響範囲についても検証を行った。結果を図-6に示す。これによると、近接距離が $1D$ の場合では、極限支持力が3割程度低下しており、支持力に影響を大きく与えている。また、常時、一時荷重を考慮した極限支持力時

の $1/3$ 程度の荷重においても、近接距離が $1D$ については、通常の状態に比べて3割程度支持力が低下し、直接基礎に比べて大きい。この要因として杭基礎は先端と周面で支持する機構であるため、孔壁崩壊による地盤の性状の変化が深い位置でも影響したためと考えられる。一方、近接距離が $2D$ の場合については、通常の状態と同等の支持力を発揮していることがわかる。このことは、既設構造物との位置関係の評価を行う際、既設構造物の支持力分布を同心円状の範囲で考慮する必要があることを示唆している。

4. 近接施工による影響範囲の推定

既設杭の支持力低下要因に関して、代表的な載荷試験結果に対して数値シミュレーションを実施し、近接施工による影響範囲の推定を行った。

4.1 影響範囲の推定方法

影響範囲の推定は、図-7に示す杭先端および杭周面の鉛直方向に地盤ばねを配置した「梁-ばねモデル」を用いて、鉛直変位を増分させた場合の荷重と変位の関係を評価することで行った。ここで、載荷試験結果で示されたように、極限支持力に至るまでの挙動はほぼ弾性であり、杭先端、杭周面の地盤ばねは塑性化に至っていないと考えられる。よって、地盤ばねは線形で考慮し、削孔による影響は、地盤ばねの初期値を低減させ、地盤剛性の低下として評価することとした。

ここで、地盤ばねの初期値については、繰返し計算に

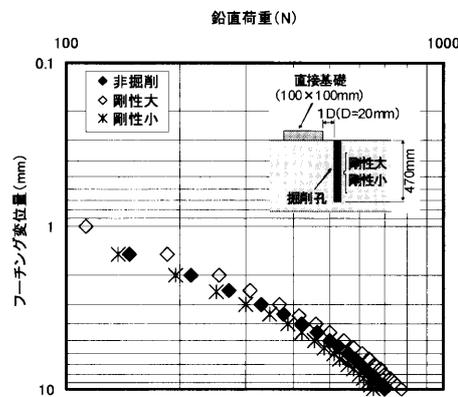


図-3 孔壁剛性の違いによる支持力性状の比較

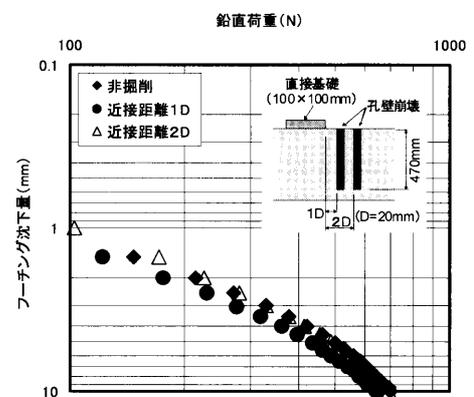


図-4 近接距離の違いによる支持力性状の比較

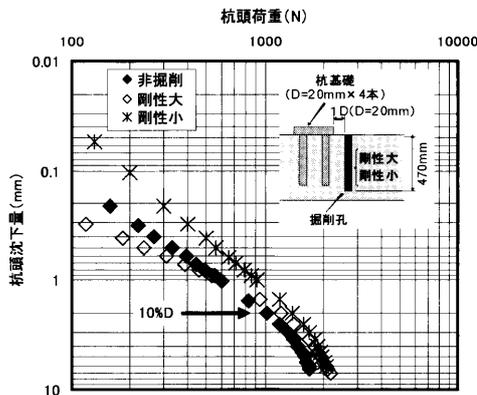


図-5 孔壁剛性の違いによる支持力性状の比較

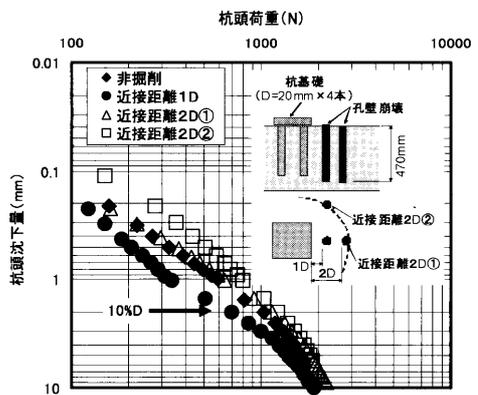


図-6 近接距離の違いによる支持力性状の比較

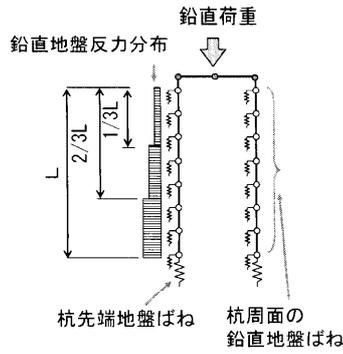


図-7 解析モデル

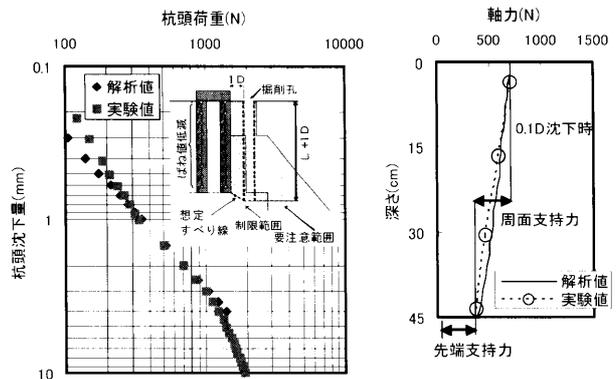


図-9 孔壁崩壊時における支持力特性 (近接距離1D)

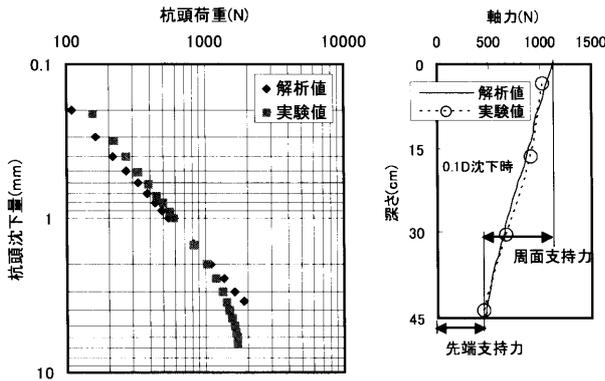


図-8 通常の場合における支持力特性

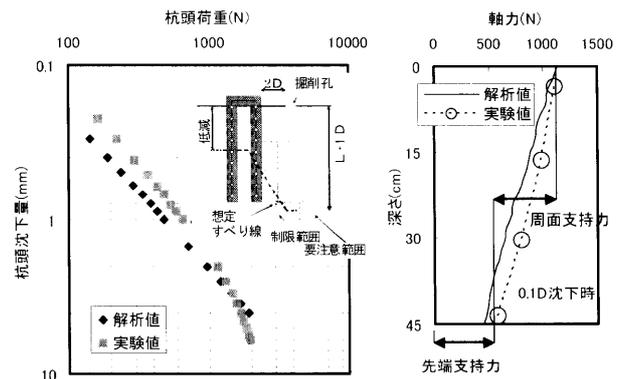


図-10 孔壁崩壊時における支持力特性 (近接距離2D)

より非掘削での載荷試験結果が説明できる杭先端ばねと杭周囲ばねとした。また、地盤ばねは地盤の深さに依存することを考慮し、図-7に示すモデルにおいて、深さ毎に3分割して大きさの異なるばねを配置した。

繰返し計算の結果得られた非掘削における荷重と変位の関係、軸力分布を図-8に示す。これによれば、初期剛性、先端と周囲の支持力分担率ともに載荷試験結果を良好に説明できていることがわかる。

#### 4.2 近接施工による影響

近接距離が1Dで孔壁が崩壊した場合は、現状の評価では制限範囲に該当し、既設杭の先端部までが影響範囲と考えられる。そこで孔壁崩壊の影響は既設杭の全長に及んでいるとし、地盤ばねの低減程度を繰返し計算により設定した。その結果、ばねを一律1/3に低減させた場合、図-9に示すように載荷試験をおおむね説明できる結果が得られ、孔壁の崩壊により杭の全長にわたり地盤の剛性が低下していることが推測された。

次に、近接距離が2D離れており、杭先端が制限範囲と判断される位置にある場合の結果を図-10に示す。現状の評価法によれば、掘削底からすべり破壊が生じる範囲内が既設杭の支持力に影響を与える範囲と想定されたため、上述した解析結果に従うとこの範囲内の地盤ばねを低減することになる。しかし、解析では、図-8に示す地盤ばねを低減しない条件で載荷試験をおおむね説明できる結果となった。この理由としては、近接距離が2D離れており、距離に応じて低減程度が異なる可能性があることなどが考えられるが、掘削底からのすべり破壊によって影響範囲を決定する現状の評価法は、削孔位

置までの距離がある程度離れた場合には、過度に安全側に評価している可能性があることが示唆された。

#### 4.3 孔壁崩壊による影響範囲

孔壁が崩壊した場合、地盤の剛性低下を考慮することで載荷試験結果を良好に評価できた。しかし、近接距離が離れた場合には孔壁の崩壊による地盤の剛性低下の影響は少なく、現状の評価法では過度に安全側の評価となることが示唆された。このことから、場所打ち杭のような円形掘削において、孔壁が崩壊することによる影響範囲は、孔壁の近傍のみと考えられ、近接距離1D程度の領域における地盤の剛性が低下していると推測される。

#### 5. おわりに

既設の鉄道構造物に近接して場所打ち杭を施工する際における孔壁の状態と既設構造物の支持力との関係を定性的に把握した。今後は、孔壁の崩壊程度と地盤の緩み領域等の関係および既設構造物の支持力の低下程度との関係を定量的に評価していくことが課題である。

#### 参考文献

- 1) 轉鉄道総合技術研究所：近接施工の設計施工指針，1987。
- 2) 東日本旅客鉄道株：近接工事設計施工標準，1999。
- 3) 桐生郷史・澤田 亮：直接基礎に近接した場所打ち杭施工に関する模型実験，第39回地盤工学研究発表会，2004。
- 4) 桐生郷史・澤田 亮：杭基礎に近接した場所打ち杭施工に関する模型実験，第40回地盤工学研究発表会，2005。  
(原稿受理 2005.7.19)