

# スマートシティも支える杭

## 場所打ち杭オールケーシング工法の課題

### ～鉄筋かご座屈～

一般社団法人無溶接工法安全協会

### 1. 場所打ち杭

—橋梁・高速道路・鉄道・高層ビルを支える  
杭オールケーシング工法の課題—

場所打ち杭とは現場で築造する杭で、支持層を確認して杭長を調整するために信頼性が高く、図-1のように橋や高層ビルなどを支えます。中でもオールケーシング工法は、鋼製ケーシングで完全に孔壁を保護することで、埋め立て地や伏流水・岩塊転石にも対応できるため、公共土木工事をはじめ鉄道・建築にも広く利用されています。

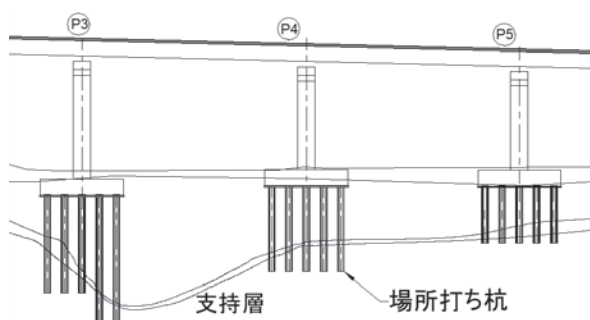


図-1 橋脚を支える場所打ち杭

地震により杭が破損すると、橋や建物などが使えなくなる可能性があります。1995年の阪神・淡路大震災では、地震により鉄筋の溶接部分に破断が多く見られたことから、無溶接工法が実用化されました。

同時に、地震の影響を最も受けやすい杭頭部の

鉄筋が太径・過密化し、液状化に備えてそれまでの摩擦杭を支持層まで到達させるようになり、杭長は大幅に伸長して座屈が起こりやすくなったことから、施工の難易度が劇的に上昇しました。しかし、不思議なことにこの問題は表面化しておらず「杭はできて当たり前」という考え方が業界全体に支配的です（図-2）。

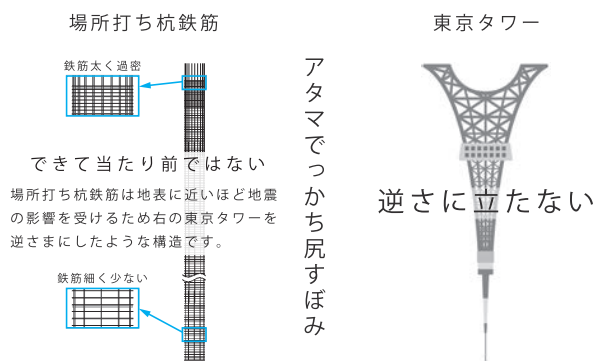


図-2 場所打ち杭鉄筋と東京タワー

### 2. オールケーシング工法の工程と座屈の危険性

オールケーシング工法は、さまざまな地盤条件に対応して健全な杭を築造できますが、コンクリートの打ち上がりとともにケーシングを引き抜き、鉄筋やトレミー管の吊替え後に切り離れたケーシングを移動する工程を繰り返します（図-3）。

座屈をできる限り起こさないように吊筋施工をした場合でも、この吊替え作業時は鉄筋かごが自

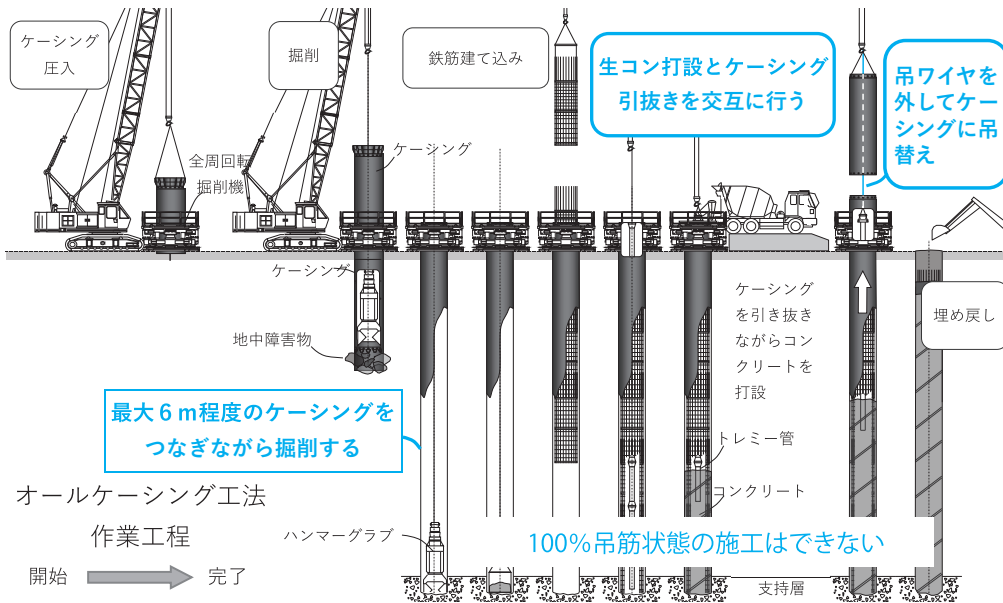


図-3 オールケーシング工法の作業工程

立状態になるため、座屈対策は必要です。

場所打ち杭鉄筋かごの自立状態は、図-4のように座屈計算の前提条件を満たしていないので、単純に計算できません。また、大きな空洞などの地盤条件にも、打設後のコンクリートを通じて影響を受けます。

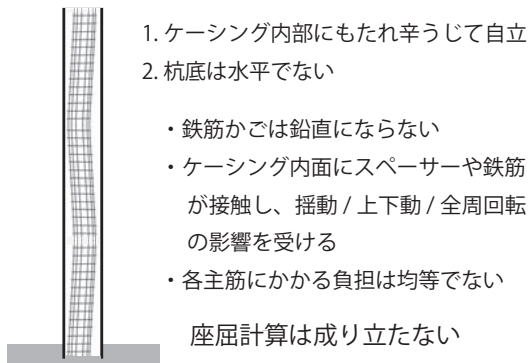


図-4 場所打ち杭鉄筋の自立状態のイメージ

### 3. 座屈と鉄筋下がり -見分け基準の必要性

技術者が通常イメージする座屈は、図-5のように「くの字」に屈折するものですが、場所打ち杭鉄筋かごは激しい回転を伴い、つぶれます。主筋は外側に帯筋、内側に補強リングがあるため、抵抗が少ない円周方向に降伏することにより、写

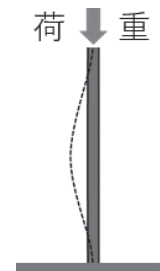
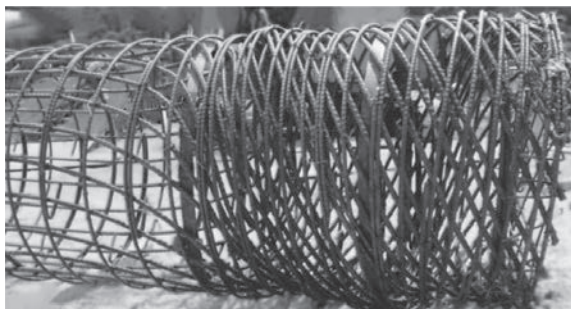


図-5 一般的な座屈のイメージ



杭径φ2000 杭長34m  
杭頭部 D32 × 48本 → 24本  
脚部 D29 × 24本 鉄筋重量 10.9t

令和元年度土木施工管理技術論文報告集  
「場所打ち杭の無溶接工法による鉄筋かごの課題と対応について」より

写真-1 鉄筋かごの座屈事例（コイル状につぶれている）

真-1のようにコイル状に押しつぶされます。座屈時の荷重は、t単位となる鉄筋かごの自重に加えて、ケーシングの揺動、全周回転の影響、さらにケーシング引き抜き時にはコンクリート打面降下の影響等があり、座屈は途中で止まりません。少なくとも補強リング間隔を単位として、鉄筋かごが沈むと思われず。この時の鉄筋重量以外の要素は予測不能です。

ところで、コンクリート打設後に鉄筋が下がっていると、打ち換えが必要な座屈を起こしている可能性が心配されますが、座屈していなくても鉄筋が下がっている場合があります（単なる鉄筋下がり）。両者の見分けには基準がないために、作業現場では大変困ることになります。

鉄筋下がりとは、支持力不足により重ね接手が余計に食い込むことで起こりますが、多少のねじれを伴うことが多いため、リアルタイムでなければ回転で判断するのは難しいと思います。

座屈の場合の沈下量は、少なくとも補強リング間隔が単位となるために、杭頭に主筋が出ている場合は座屈ではない可能性が高く、この区別をしないと健全な杭の打ち換え等、膨大な無駄が発生します。

#### 4. 座屈危険度の可視化

場所打ち杭鉄筋について、昔から「軽い」、「重たい」とよくいわれますが、軽いとされるものでも軽自動車1台分くらいの重さがあります。重量

物である鉄筋かご揚重時の支持力や鉄筋かご座屈は、どの程度の負担がかかっているかを可視化しなければ対策が打てず、評価もできません。そこで、いろいろな配筋を想定して座屈の危険性を比較してみました。

この比較では、φ1200 杭長 30 m で脚部主筋径を D22 × 10 本、杭頭部主筋径 D22 ~ D38 × 20 本（単純比較のため設計上の制約等は無視）としていきます（図-6）。

また、オイラー式を成立させるために杭底は完全な平面、鉄筋かごは完全に鉛直状態で、各主筋は完全に均等分散した自重を負担していると仮定します。さらに、単純比較するために、補強リング間隔も一律の間隔 3 m としました。

実際にはあり得ない状態ですが、異なる配筋による影響を対座屈荷重比で可視化します（表-1）。

#### 5. 鉄筋重量以外の要素とグラフから見えること

表-1の可視化グラフは、鉄筋重量のみを座屈に影響する荷重としていますが、実際には地中の大きな空洞、海べりや伏流水によるセメントミルクの流出、ケーシング回りの圧密等による引き抜き不能を回避するための揺動や全周回転といった、鉄筋かご座屈を誘発する要素は入っていません。また、主筋の傾きによる偏荷重は予測不能です。杭底の完全な平面化は不可能であり、これも偏荷重の原因になります。

これら事前予測不能の要素は鉄筋重量よりも大

杭頭部主筋D22~D38×20本、脚部主筋D22×10本、補強リング間隔3m

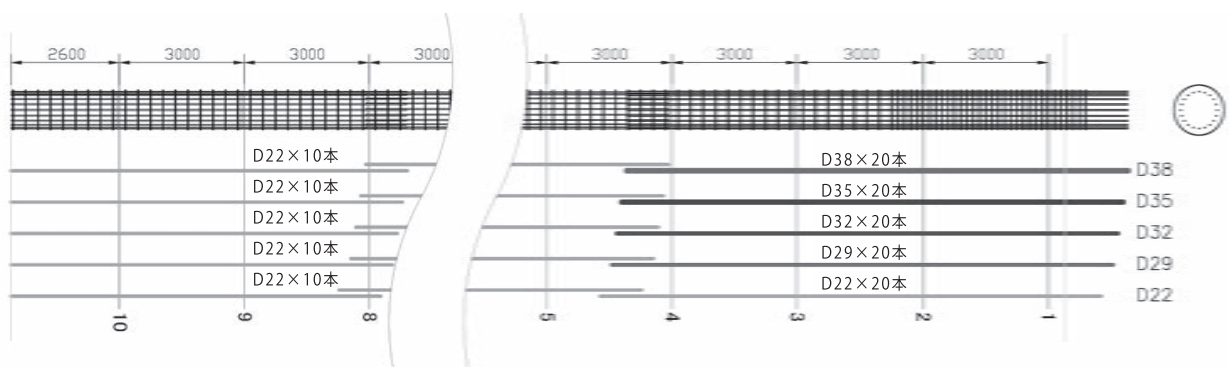


図-6 補強リング位置の座屈荷重比率単純比較の配筋

表一 鉄筋かご座屈危険性のグラフによる可視化（当協会資料より）

杭頭部主筋径 D22×20本 脚部主筋径 D22×10本 鉄筋重量3.24t 段落ちなし

リングNo	主筋径	主筋本数	位置重量	設定リング 間隔	杭頭から 追加距離	主筋断面積当り 鉄筋重量 a	主筋断面積当り 座屈荷重 b	a/b	対座屈荷重比率
No.1	D22	20本	172	0.40 m	0.40 m	3kg/cf	3,962kg/cf	0.1%	
No.2	D22	20本	575	3.00 m	3.40 m	7kg/cf	70kg/cf	10.6%	
No.3	D22	20本	977	3.00 m	6.40 m	13kg/cf	70kg/cf	18.0%	
No.4	D22	20本	1,380	3.00 m	9.40 m	18kg/cf	70kg/cf	25.5%	
No.5	D22	10本	1,846	3.00 m	12.40 m	48kg/cf	70kg/cf	68.1%	
No.6	D22	10本	2,082	3.00 m	15.40 m	54kg/cf	70kg/cf	76.8%	
No.7	D22	10本	2,317	3.00 m	18.40 m	60kg/cf	70kg/cf	85.5%	
No.8	D22	10本	2,783	3.00 m	21.40 m	72kg/cf	70kg/cf	102.7%	
No.9	D22	10本	3,015	3.00 m	24.40 m	78kg/cf	70kg/cf	111.3%	
No.10	D22	10本	3,246	3.00 m	27.40 m	84kg/cf	70kg/cf	119.8%	

左表は前頁の条件で補強リング位置（同じ位置）における鉄筋重量を座屈荷重と対比させグラフ化した表のうち、よくある杭頭部主筋がD32とD22のものです。

杭頭部主筋径 D32×20本 脚部主筋径 D22×10本 鉄筋重量4.06t 3段落ち

リングNo	主筋径	主筋本数	位置重量	設定リング 間隔	杭頭から 追加距離	主筋断面積当り	主筋断面積当り	a/b	対座屈荷重比率
No.1	D32	20本	327	0.40 m	0.40 m	3kg/cf	8,173kg/cf	0.0%	
No.2	D32	20本	910	3.00 m	3.40 m	6kg/cf	145kg/cf	4.0%	
No.3	D32	20本	1,494	3.00 m	6.40 m	9kg/cf	145kg/cf	6.5%	
No.4	D32	20本	2,077	3.00 m	9.40 m	13kg/cf	145kg/cf	9.0%	
No.5	D22	10本	2,569	3.00 m	12.40 m	66kg/cf	70kg/cf	94.8%	
No.6	D22	10本	2,805	3.00 m	15.40 m	72kg/cf	70kg/cf	103.5%	
No.7	D22	10本	3,040	3.00 m	18.40 m	79kg/cf	70kg/cf	112.2%	
No.8	D22	10本	3,529	3.00 m	21.40 m	91kg/cf	70kg/cf	130.3%	
No.9	D22	10本	3,784	3.00 m	24.40 m	98kg/cf	70kg/cf	139.6%	
No.10	D22	10本	4,038	3.00 m	27.40 m	104kg/cf	70kg/cf	149.0%	

実際には地盤条件やケーシングの揺動/全周回転等の鉄筋重量以外の予測不能要素が大きく影響します。

どちらもありふれた杭の配筋ですが、杭長15m以上深はならぬ座屈対策が必要といえます。

きな悪影響を及ぼす可能性を踏まえた上で、グラフから読み取れることがあります。

- ① D22のような細径主筋では、a/b値の傾向から脚部主筋が杭頭と同本数でも杭長40m超になると、座屈危険度がかなり高いと推測
- ② 主筋段落ち後は一挙に座屈危険度が高まる
- ③ 杭長に比例して座屈危険度は高まる

座屈の根本的対策は吊筋施工により圧縮荷重をかけないことですが、吊替え作業時は鉄筋かごが自立状態になります。イメージ的には最深部が座屈危険度が高いと思われそうですが、全区間で座屈対策が必要であることが分かります（表一2）。

## 6. 鉄筋かご座屈が表面化していない

オールケーシング工法における鉄筋かごの座屈

は、突発事故ではなく単一工種での再発事故といえますが、施工ミスの扱いで表面化していません。

東日本大震災翌年（2012年）の道路橋示方書改定以降は、鉄筋の高強度・太径・過密化と長大化が進んでいますが、従前は摩擦杭が多く、鉄筋量が少なく、杭長も30m程度が多かったことから、施工者の経験値が信頼できる確かなものでした。これが「できて当たり前」という業界常識をつくった最大の理由だといえます。地下の見えない、数値化されていない工種であり、ゼネコンも専門業者を頼るしかなかったのです。

しかし、杭長70mを超えるものや杭頭部が極端に太径・過密化した現在は、担当する技術者が頭を抱えることが珍しくありません。最大の懸念事項が「できて当たり前」とされているのが、場所打ち杭鉄筋かご座屈問題の現状です。

表一 2 座屈対策例と影響

	座屈対策例	影響
1	補強リング間隔調整	リング材料・施工 / 管理手間・金具数量
2	主筋補強（金具補強や補強鉄筋追加）	補強金具 / 鋼材・施工 / 管理手間
3	脚部の主筋径 / 主筋本数変更	変更協議・設計変更・鋼材入れ替え

- ・上記1と2は対症療法的対策であり、効果の数値化が難しい。
  - ・座屈は基本的に細長比と荷重の問題であり、特殊な場合をのぞき施工の影響は少ない。
  - ・対症療法で追いつかない場合には、上記3の根本的対策が必要。
- 以上から施工ミスとはいいきれず、施工者責任だけではカバーできない。

## 7. 鉄筋かご座屈の対策を考える

座屈対策は、まず可視化することから始めなければなりません。無溶接特殊金物の中には主筋補強機能を備えるものもあり、また細長比改善のような対症療法的手段で追いつかない場合にどれくらい脚部主筋のサイズアップが必要か、ヤマ勘では話になりません。

ここで可視化すべき対象は、鉄筋重量以外の予測不能な要素です。これは文字どおり予測不能であることから、実績の積み重ねから傾向を探るしか方法がありません。

例えば、散布図を用いて座屈が起こった状況をプロットすれば、要注意領域が浮かび上がります(図-7)。

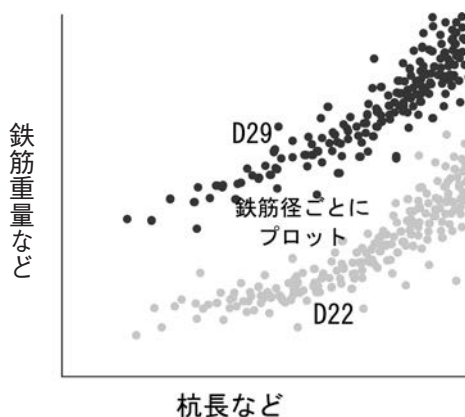


図-7 座屈の散布図(案)

この方法は単一工種であることを利用したものです。業者により施工方法や考え方が全く異なりますので、一定の法則に基づくことが重要です。しかし、仮に大規模に行うことができれば、一定法則に基づかなくてもさまざまな問題が浮か

び上がり、解決の糸口が見つかるのではないのでしょうか。

## 8. おわりに

「表面化しない」は、可視化などの技術的アプローチだけでは解決しないことを意味しています。

無溶接工法は現行の枠組みに収まらず、施工や管理のほか、場合によっては設計や取り扱いにも及びます。ここで取り上げた座屈対策のほとんどには補強リング間隔(細長比)調整が関係し、主筋と補強リングの固定金具数に直接大きく影響します。これが無溶接工法を資材扱いにできない理由です。

座屈問題を突き詰めるだけでも責任や権限とコストや安全が絡みますが、その中で例えば吊筋施工に用いる3ドラムクレーンの単価や新たな管理に要するコストなど、あらゆる要素をトータルで扱わないと「表面化」はできないと思います。ほかにも杭長60mの施工に杭長40mの単価を適用しているといった現状がありますが、過当競争のために請負費は下がっても上がりません。このような背景抜きでは、表面化も解決も単一の業種では不可能だと思います。

一般社団法人無溶接工法安全協会はさまざまな立場から異なる意見と専門知識を持ち寄り、連携してこれらの問題の解決を目指す集まりです。今後とも本工法の普及により各現場で発生する課題を解決し、高精度で均質な施工に寄与してまいります。

未来を支えるカクレタギジュツ  

**muyousetu.com**