

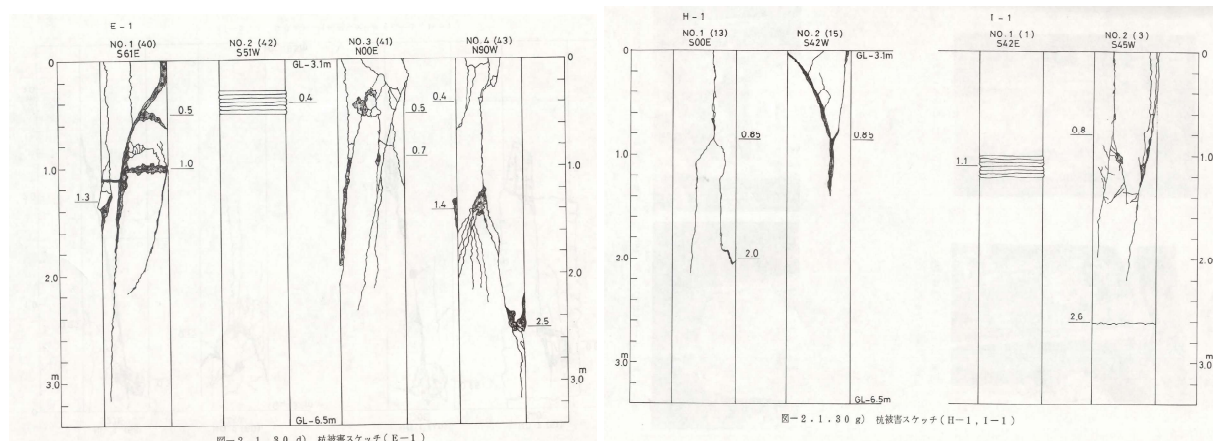
## 既製コンクリート杭の継手を考える

(一社) 基礎構造研究会代表理事 杉村義広

雑誌基礎工 2026 年 9 月号「特集：既製コンクリート杭・鋼管杭の継手」の巻頭言「梅野岳：コンクリート杭引張り継手の有効率に思うこと」を読んで驚いたことについて書きたい。「…接合部には部材本体の耐力より大きな耐力を付与し、接合部で壊れないようにするのが当たり前と思い込んでいた筆者には、この有効率に大いに違和感を覚えた…」という文言があり、筆者も「接合部で壊れないようにする」ことは同感であるとともに、「引張り継手の有効率」が何であるかという点については、筆者の知ることでなかったので詳しく調べ直す必要があると考えたからである。

結論から言えば、「耐力」という言葉は壊れるか壊れないかのレベル、言い換えれば終局強度に関するものであり、短期許容応力度レベルに使うと要らぬ誤解を生む心配があるということ、それに「有効率」は短期許容応力度レベルに関する概念であるから耐力に直接関連するわけではないこと、の 2 点を確認できたということである。以下、その結論に至った経緯を述べたい。

筆者は、宮城県沖地震（1978）の際に PC 杭の被害があった事例で、4 本の杭で支えるパイルキャップ方式の基礎スラブではかの 3 本に杭頭部の被害が現れているのに対して、1 本の杭だけ杭頭付近に接合部が位置していたために何の被害もなく正常であった例を観察したことがある。以下に示す基礎スラブ E-1 の No.2 と I-1 の No.1 の 2 本の杭であり、図の横線で示された部分が溶接継手である。この建物ではプレボーリング、最終打撃



の施工法が採用されており、たまたまこれらの杭だけ最終的に打ち込まれ過ぎたために打ち継ぎの溶接がなされていたということである。その状況を仙台市が撮影した写真を右に示しておく（基礎スラブ E-1 No.2 の写真では継手が明確に見られるが、I-1 No.1 の写真は多少見にくい。基礎スラブ下 1.1m の位置に少し暗くみえるのが継手である）。これらの例に出会って継手は杭本体より強いという認識を持つようになったのである。



また、建築センターの基礎構造委員会での経験により、後に無溶接継手と通称されているペアリング・ジョイント工法やトリプルプレートジョイント工法を知ることになり、それらからも“継手は杭本体と同等以上の耐力と変形性能を有している”との見解を持つようになり、その考えは今も続いている。そうしたときに巻頭言を読んで、“梅野さんが継手の引張り耐力の低減について書いている”と、ある意味では“早合点”してしまい、驚いたわけである。そこで、今年の建築学会大会の際に大学の後輩でもある梅野さんに会った時に、この点について話し合ってみた。その結果、得られた結論から述べると「有効率」云々は破壊レベルではなく、短期許容応力度レベルの話であることが半明し、そのレベルに対して「耐力」という言葉を使っていたので壊れる、壊れないの話と誤解していたことが解ったという次第である。その経過を以下に述べてみたい。

1) 梅野さんの参考文献 2) については溶接継手の時代であったことを考えなければならない。当時早稲田大学理工学部建築学科の鉄骨造関係の鶴田明教授の講義の中で、「相当ベテランの溶接工であっても朝出勤の前に奥さんと喧嘩をして出て来たような場合には、その日はうまい結果にならないのが溶接である」と聞いた覚えがある。それ故、文献 2) の問題は溶接の不具合が原因であるかと思えた。しかし、そうではなくてプレストレス導入の鋼材用穴が原因で、その付近で短期許容引張り応力度を超える測定値が得られる場合があるという事実が確認出来た。

2) 梅野さんの参考文献 3) と 4) は機械式継手工法いずれの場合も引張り試験で参考文献 2) と同様にプレストレス鋼材用の穴付近での短期許容引張り応力度を超えることが実測され、それを引張り有効率「(端板引張り耐力+補強バンドの引張り耐力)/(杭体の引張り耐力)」と定義し、評定審査を通過させたものであることが半明した[この「耐力比」の表現には多少の違和感を持たせられることについては後述する]。すなわち、梅野さんの参考文献 4) の図 2 を右に引用するが、丸囲み数字の内容はそれぞれ、①継手の短期許容引張り荷重(試験の実測値)、②杭本体の短期許容引張り荷重(計算値)、③軸力ゼロ時の杭本体の短期許容応力度に到達する曲げモーメント(計算値)、④軸力ゼロ時の杭本体の終局曲げモーメント(計算値)、⑤軸力ゼロ時の杭本体の終局曲げモーメント(試験の実測値)である。

③と⑤は軸力ゼロとした試験体の曲げ試験を行った時の短期許容応力度に達した時点と終局強度に達した時点の曲げモーメントに対応し、④は終局時の計算値であるが、一般にやや安全側に扱うので実測値よりは内側に位置するのが普通である。

図 2 は、破壊と短期許容応力度レベルについての  $N-M$  関係の一般的性質を説明するために作成されたためか、横軸、縦軸とも単位や数値が示されていないことが気に掛かる。と同時に、上記した引張り有効率が許容応力度レベルの問題であるにも拘わらず、「耐力」の言葉が使われている点がもっと気になるのである。「耐力」という言葉が一般用語であるとして用いられているが、「耐力」は壊れるか壊れないか、終局強度を表す用語として定着していることを考えれば、許容応力度レベルに用いると要らぬ誤解を呼ぶことに繋がる心配があるからである。コンクリート杭にとって最も過酷なのは純引張り条件下であるのは間違いないので、実験によって検証されている③と①を重要視して繋いだものと思われるが、厳密に言えばその中間は実証されていないという問題が残

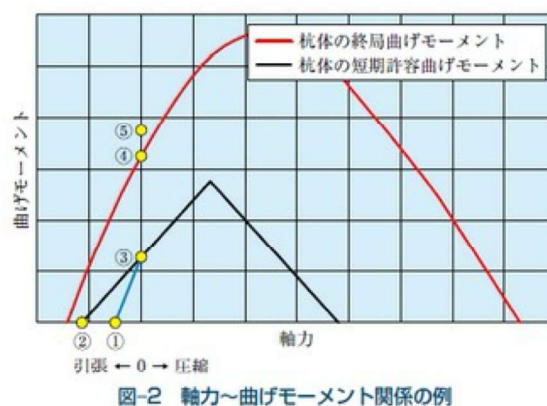


図-2 軸力～曲げモーメント関係の例

る。

この点を考えてみるよい資料を（一社）基礎構造研究会の事務局小椋仁志さんから送って貰うことが出来たので、それらを基に考察してみたい〔梅野論文の参考文献の後編とも言うべき以下の文献である。1) ～3) 石川一真、小椋仁志、松江繁尚、宮原清、長澤和彦、松木靖紀、鈴木慶吾、熊谷雄二、宮坂怜奈、全田和之、八田宏志：既製コンクリート杭の機械式継手における引張耐力の検証(その1 FEM 解析)、(その2 引張試験)、(その3 梁モデルによる引張有効率)、建築学会大会、pp. 425～430、2019. 9、4) 石川一真、松江繁尚、熊谷雄二、松木靖紀、八田宏志、新川照雄、鈴木慶吾、全田和之：同名(その4 継手の降伏荷重の再評価)、建築学会大会、pp. 401～402、2020. 9、5) 小椋仁志：基礎杭に関する最近の動き、日本建築学会近畿支部基礎構造部会、2019. 4. 24〕。

ここでは、文献3)の図5として示された上記図2に縦軸、横軸とも単位がついた  $N/M$  図を引用して以下に示す。

この図では、図2にはなく新たに追加された二つの点も含めて7カ所の丸囲み番号が表示されているが、それぞれの中味を示すと以下のとおりである。①純引張り試験の破断した実測値(新)、②引張り破断の計算値(新)、③継手の短期許容引張り荷重(実測値で図2の①に対応)、④杭本体の短期許容引張り荷重(計算値で図2の②に対応)、⑤軸力ゼロ時の杭本体の終局曲げモーメント(実測値で図2の⑤に対応)、⑥軸力ゼロ時の杭本体の終局曲げモーメント(計算値で図2の④に対応)、⑦軸力ゼロ時の杭本体の許容応力度に到達する曲げモーメント(計算値で図2の③に対応)。

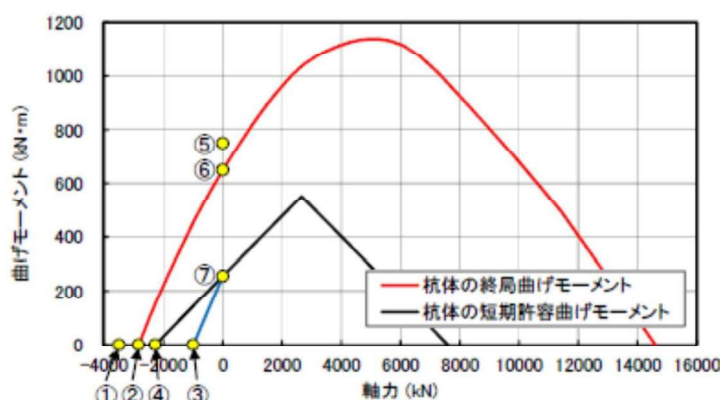


図5 軸力～曲げモーメント関係の例

図2で③と①を結んだということは図5では⑦と③を結ぶと言い換えられるが、この問題は破壊の  $N/M$  関係(赤線で示される曲線)の内側の話であること、言い換えれば“杭が壊れることを示す曲線、すなわち「耐力曲線」の内側である”という点を強調したい。何度も繰り返すが、③や④は引張り耐力を示す②よりも内側にあるという事実が重要である。短期許容応力度は破壊に対して1.5程度の安全率を有することが建築基準法の基本方針であると言えるから、図で線分0-②と線分0-③の比  $[(0-②)/(0-③)]$  を読み取ると3.0程度はあるので、短期の2倍の長期許容応力度に近い安全率を有することになり、評定審査の通過に対しては妥当の処置とも思われる。しかし、実際の設計界では、この有効率を無視した場合の〔言い換えれば、プレストレス用の穴の存在を無視して計算した場合の〕線分比  $[(0-②)/(0-④)]$  は1.25程度しかないという事実、それがコンクリート系部材の宿命であると明記しておく方が正当であり、親切でもあるという点で重要なのである。

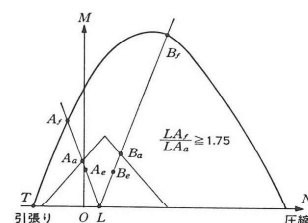


図14 プレストレストコンクリートぐいの許容応力度の求め方

ここで思い出すのは、地震力に対する建築物の基礎の設計指針1984(いわゆる建設省指針)を作成した際に“杭への地震力としては上部構造の慣性力が作用する”と考え、図14のような設計プロセスを提案したことである〔概要は、長期軸力を受けているL点から地震時引張り側  $A_e$  点、圧縮側  $B_e$  点へ進み、その後も大きな地震力を受けた場合には同じ線上で進むと仮定して引張り側破壊点  $A_f$ 、

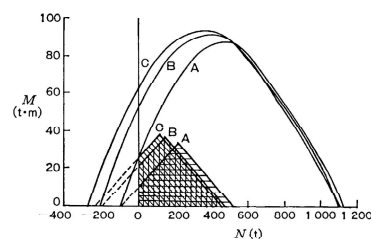


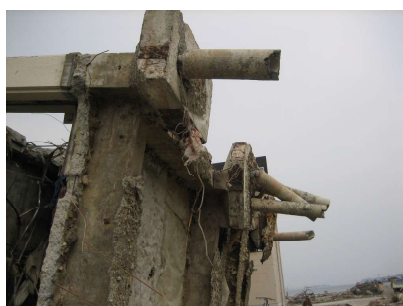
図15 プレストレストコンクリートぐいの使用推奨範囲

圧縮側破壊点  $B_1$  に到達する時の線分比率を図中に示した 1.75 程度は確保したいという考えであり、いしずえ通信 14 号で書いた覚えがある。ちなみに、図 5 が杭径 60cm の PHC 杭であるので長期許容支持力が 120 t/本程度となると仮定して、 $L$  点を基にして線分比を求めてみると、さらに小さな 1.2 程度となることに留意しておく必要がある。これによれば、引張り破断  $T$  に近づくほど線分比は 1.5 を確保できなくなるのは明白であることから、図 15 に示すように“引張り力が作用しない範囲内で杭を使用する”ことを推奨していたのである。もし、引張り領域に入ってしまうケースがあった場合には、安全率が非常に小さくなることに十分配慮する必要があるとしたものである。

先述した梅野さんの参考論文その 4) の第一発表者石川一真さんに試験結果の写真を送ってこないかとメールを出したら、論文に使われた写真 1 の原図を送ってくれた。それを以下に引用する。継手部分ではなく杭本体で破断している様子が明確である〔破断面は、宮城県沖地震（1978）以来のよく知られた斜めひび割れとは違う杭軸に対して直角の関係にあることはいしずえ通信 16 号あたりで触れた記憶がある〕。杭本体のほかの部分ではコンクリートに引張りひび割れが幾筋も生じているのが見られよう。この試験体は杭径 80cm の PHC 杭 C 種で最終状況は、爆裂音を伴うような危険な試験であったことが想像されるが、“継手は杭本体と同等以上の耐力（そして変形性能も含めて）有している”という筆者の最初の認識を証明してくれていると言える。



この壊れ方を見て思い出すのは、東北地方太平洋沖地震（2011）の際に津波を受けて転倒した女川交番の事例である。その写真を以下に 3 枚ほど挙げてみる。これらを見ると破断面は杭軸と直角の関係にあることが明白であり、上記の写真と非常に似ていることが認められる。津波によって転倒したことを考えると純引張りの条件下であったとも思えないので、ある程度曲げの影響も含まれた図 5 の⑥と②の間、それも限りなく②に近いあたりの応力状態を経験していたのであろうと推定される。



このような事例、すなわち引張り破断とも言うべき破壊事例が認められたことは深く銘記すべきであると思われる。合同調査報告〔日本建築学会ほか 7 学会：東日本大震災合同調査報告、建築編 5、2015.3、建築基礎構造、4.4 津波による被害〕を書いた時点では、まだ推察の域を出なかったが、このような実験結果に出会ってみると、建物全体が水没してしまう状況で大津波を受けるという条件が重なった場合には、PHC 杭などコンクリート系の杭基礎は“引張り破断”とも言うべき被害を被ることがあると断言でき、教訓として残るからである。