

「ちょっとおかしいなあ…と思つたら立ち止まつてみよう」

開44 大和 真一



を感じた。

この地震で、写真-1に示す仙台市が建設中であった長町の11階建て高層住宅『仙台市営郡山住宅』のA棟が図-1のように最上部で31.3cm傾いた。

直角に隣接するB棟は傾かなかつたので両棟は屋上付近で大きい隙間ができ、遠くから肉眼でも容易に観察できた。この事実は今では信じられないが、まだ建設中であつたこと



写真-1 宮城県沖地震(1978)で傾いた仙台市長町のマンション (2017年6月撮影)

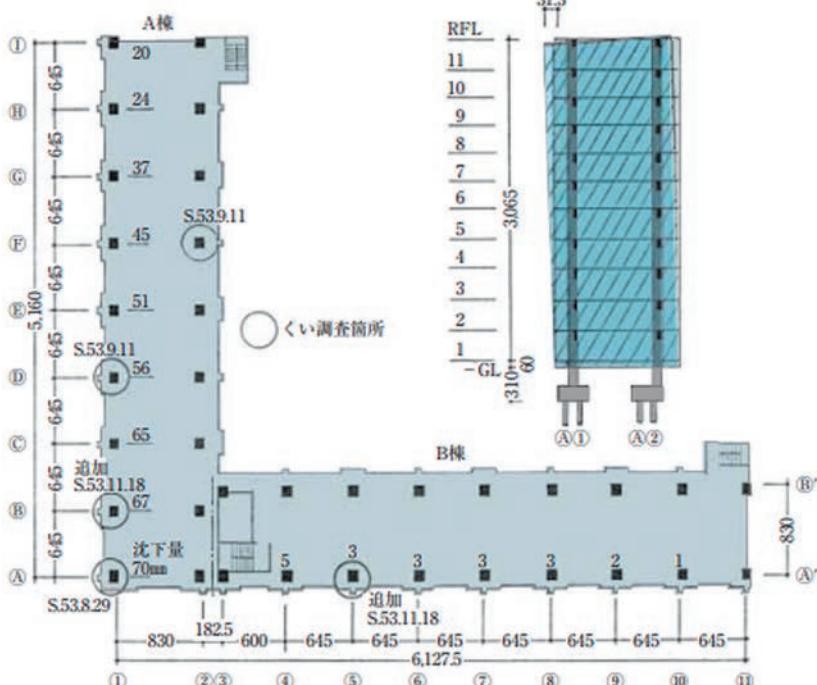


図-1 傾いた11階建てマンションの平面図 左が傾いたA棟、右がB棟

もあり全く公表されず1年以上マル秘扱いであった。1年後の夏休みに国際地盤工学会アジア地区会議がシンガポールであり、多くの地盤関係者が参加した。

その帰途の飛行機の中でみた『週刊現代』にこの事件が暴露されており、みな機中で仰天したのを覚えている。

暴露したのは地盤学者ではなく地

質学者の日本大学理工学部守屋喜久雄教授であった。国内外で火山の噴火などがあると一番に駆けつけてテレビ出演する有名人ではあった。

この話には余談がある。守屋先生と筆者とはその後ひょんなきっかけから仲良くなつた。1983年6月初め、地盤工学会大会が郡山市で開催され参加した。その2週間ほど前に秋田県沖を震源とした日本海中部

地震が発生し、秋田港や男鹿半島などで大規模な液状化被害が発生していた。学会会場で当時、基礎地盤コンサルタンツ（元東京電機大副学長）の安田進先生（開土45）と会い、先生が現地調査して作成した液状化被害速報をもらった。帰京して翌朝、都営三田線に乗って通勤しながらつり革につかまつて『安田先生報告書』を眺めていた。すると後ろから『もうこんな報告書があるのですか。1日貸してくれませんか』と声をかけられた。振り返ると守屋先生であることはテレビで知っていたのですがに分かつた。同じ団地に住んでおり、以後先生とは自宅訪問する仲になつた。

前述の傾いたマンションで使用された杭は、外径600mm、長さ10m程度のP-H-C杭A種で施工法はディーゼルハンマーによる打撃工法であった。これも今では信じられないが、当時このような高層マンションであつても一部を除いて杭の耐震設計は全く実施されておらず、杭は長期の建物荷重だけを支えれば良い設計であった。そのため大地震の直撃を受けければP-H-C杭は壊れマンションが傾くのは当然であった。ち

どで大規模な液状化被害が発生していた。学会会場で当時、基礎地盤コンサルタンツ（元東京電機大副学長）の安田進先生（開土45）と会い、先生が現地調査して作成した液状化被害速報をもらった。帰京して翌朝、

なみに、建築用基礎杭の地震時の耐震設計が義務化されたのは、平成7年（1995年）の阪神大震災も経験したのちの平成13年建築基準法告示1113号からである。この宮城県沖地震から23年後というお粗末さということになる。

1・2 傾いたマンションの原因究明

使用された杭はP-H-C杭A種で耐震性は既製杭の中では最も低い。更に耐震設計は実施されていないので傾いた原因は杭が破損しているのだろう…、との予想は当初からあつた。実際にマンションの地下を掘削して杭を露出させると傾いた側（図-1のA①通り）の杭の杭頭は写真-2に示す様に全て圧縮破壊して粉々になりP-C鋼棒は湾曲していた。

杭業界をはじめとして杭の設計者や学者などにとってこれは初めて経験する杭の大規模な地震被害であった。そのため、みな勝手な原因推定をして主張していた。最も多かったのは、『P-H-C杭はR-C杭に比べて韌性が無いガラスのような杭だからポキッと壊れる…』。これは家と称する学者先生がテレビに登場



写真-2 杭の被害写真 (志賀敏夫 1980)

たのではないかと思う。筆者も自社の工場内に大規模な『曲げ引張り曲げ試験装置』なるものを作り、多大な費用をかけて室内試験を担当した。試験結果は建築学会大会に投稿しているが、地震被害の原因推定には無用のものであった。PP協会で多数の的外れの試験を実施した最大の原因是、杭の破壊原因が『天動説』であったからである。

地震から3年後これらの再現実験も終り、杭頭が破壊した原因についてPP協会は報告書を作成した。つくばの建築研究所も同じような調査報告書を出した。その結果は杭頭の破壊原因について両者は同じ見解で一致していた。

建材などで構成するコンクリート・ポールパイル協会（PP協会）でも業界団体として現地調査を行い、その後協会内に大規模な委員会を設置して宮城県沖地震被害再現試験プロジェクトがスタートした。また、つくばの旧建設省建築研究所でも県や国の依頼を受けて、同様の再現試験をスタートした。

PP協会が実施した多数の再現試験は今から考えれば全て的外れなものばかりで、これに数千万円は要し

たのではないかと思う。筆者も自社の工場内に大規模な『曲げ引張り曲げ試験装置』なるものを作り、多大な費用をかけて室内試験を担当した。試験結果は建築学会大会に投稿しているが、地震被害の原因推定には無用のものであった。PP協会で多数の的外れの試験を実施した最大の原因是、杭の破壊原因が『天動説』であったからである。

内容は、図-2に示すように杭の軸力 Σ_{A} 破壊曲げモーメント M_{u} 曲線の相関図の中に併記したX形で示す杭の挙動が、 M_{u} 曲線と交差した時に杭は破壊する。図-2より明らかのように①通り、②通りとも最初に破壊線と交差するのはベースシア $CB = 0.25$ 程度のとき軸力が減少する側で、軸力が増加する杭はベースシア係数 CB が0.5まで大きくなつても破壊線と交差していない。

言い換えれば、『地震による水平

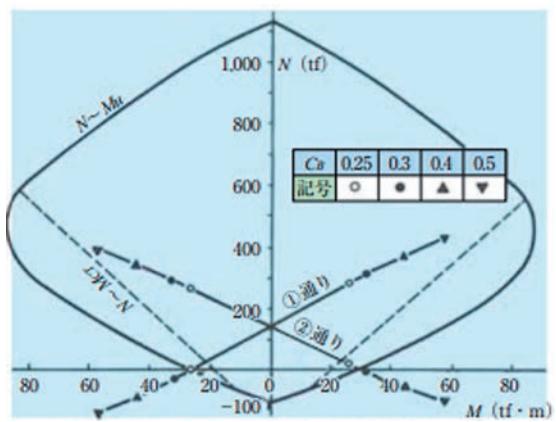


図-2 桁の曲げ耐力と外力 (大岡・杉村 1981)

筆者もこの再現試験プロジェクトに加わっていたので、この見解について毎日何かおかしい…、納得できない…と思つて過ごしていた。納得できない最大の理由は前記の報告書にあるように、『杭は大地震を受け最小軸力 N_{min} のときに壊れたこと』になつていて。しかし、掘削調査された地下に潜つて杭頭を見るまでもなく、杭が破損しているのは杭が最大軸力 N_{max} の側である。報告書の見解と実際の破損が全く逆転している』本マンションはA棟、B棟が図-1に示す様にL字型に配置されている。A棟の杭被害はA①側の杭で生じ、A②側は無被害であった。A棟はB棟と直交しているためB棟側へは傾くことはできずB棟から離れるように最頂部で31.3 cm傾いた。

1・3 『ちょっとおかしいなあ…』

P.P協会の見解も、建築研究所の報告書も同じであつたので、ほとんどの人は納得した。異論を唱える人はいなかつた。しかし、中には納得できない人もいたかも知れないが、

力で杭の短期軸力は変化する。マンション片側の杭の軸力が最大 (N_{max}) のとき、反対側は最小 (N_{min}) になる。PHC杭の曲げ強さは軸力が大きいほど大きいので、軸力が最小のときに曲げ耐力も小さいのでこのとき杭頭は破損した。』

残念ながら反論できる根拠は有していないなかつた。筆者もその一人であつた。

筆者もこの再現試験プロジェクトに加わっていたので、この見解について毎日何かおかしい…、納得できない…と思つて過ごしていた。納得できない最大の理由は前記の報告書にあるように、『杭は大地震を受け最小軸力 N_{min} のときに壊れたこと』になつていて。しかし、掘削調査された地下に潜つて杭頭を見るまでもなく、杭が破損しているのは杭が最大軸力 N_{max} の側である。報告書の見解と実際の破損が全く逆転している』本マンションはA棟、B棟が図-1に示す様にL字型に配置されている。A棟の杭被害はA①側の杭で生じ、A②側は無被害であった。A棟はB棟と直交しているためB棟側へは傾くことはできずB棟から離れるように最頂部で31.3 cm傾いた。

1・4 『地動説』との遭遇

地震による杭被害の実態と計算とが逆になっている。この矛盾の原因は何か、日々思い悩んでいた。宮城県沖地震から約5年経つたある日、この矛盾を解決するヒントが突然やつてきた。仕事で茨城県猿島郡境町にあつた自社の建材工場へ出張し

た。工場の入口でパイル試験担当のM係長と会つた。『いまどんな試験をしているのですか』と聞いた。M係長は『いま、JIS認定取得のための軸力曲げ試験を行つている。軸力曲げ試験は怖い！ひび割れが入る前にいきなり杭が圧壊してコンクリートが吹っ飛んでくる。』と言つた。これを聞いて私は『これだ！』と一瞬でひらめいた。

PC杭やPHC杭の曲げ試験方法はJISに定められており、

1) 単純曲げ試験と2) 軸力曲げ試験の2種類がある。1)の単純曲げ試験は杭を試験機に乗せ2点載荷で曲げ荷重を加えるもので、ひび割れ曲げモーメント M_c と破壊曲げモーメント M_u を求める。JISには M_c と M_u の値が規定されているので、試験ではこの値を満足しなければならない。2)の軸力曲げ試験は杭中空部にテンションロッドを挿入して、軸力 N を付加した状態で曲げ試験を行う。このときも軸力 N に応じた M_c と M_u が規定されてゐる。1)の単純曲げ試験であれば M_c あたりで初期ひび割れを生じ、PHC杭A種であれば M_c の1.5倍程度の荷重で破壊モーメント M_u に達

一方、2) の軸力曲げ試験は様相が異なる。付加する軸力が相対的に小さいときは1) の単純曲げ試験の破壊と同じパターンである。しかし、軸力が次第に大きくなるとそれまでのP.C鋼棒切断による曲げ引張り破壊ではなく、コンクリートの曲げ圧縮破壊型に移行する。最終的にコンクリート杭は曲げ圧縮破壊を生じ、圧壊したコンクリート片が大音響とともに数メートル先まで吹っ飛んでくる。極めて危険な試験であるので防護柵を設けて行う。初期ひび割れが生じてから圧壊に至るのであれば心の準備もできるが、初期ひび割れが生じる前にいきなり圧壊が襲ってくるから怖い。前述のM係長が言った『ひび割れが入る前にいきなり杭が圧壊してコンクリートが吹っ飛んでくる』とはそういう意味である。筆者もかつて軸力曲げ試験をたくさん実施した経験があつたので、これをすぐに理解できた。

1・5 『地動説』の発見
M係長が言つたことを聞いて、

する。このとき M_u は曲げ引張り側のP.C鋼棒の引張り破壊で最大値となる。

一方、2) の軸力曲げ試験は様相が異なる。付加する軸力が相対的に小さいときは1) の単純曲げ試験の破壊と同じパターンである。しかし、軸力が次第に大きくなるとそれまでのP.C鋼棒切断による曲げ引張り破壊ではなく、コンクリートの曲げ圧縮破壊型に移行する。最終的にコンクリート杭は曲げ圧縮破壊を生じ、圧壊したコンクリート片が大音響とともに数メートル先まで吹っ飛んでくる。極めて危険な試験であるので防護柵を設けて行う。初期ひび割れが生じてから圧壊に至るのであれば心の準備もできるが、初期ひび割れが生じる前にいきなり圧壊が襲ってくるから怖い。前述のM係長が言った『ひび割れが入る前にいきなり杭が圧壊してコンクリートが吹っ飛んでくる』とはそういう意味である。

これまでの研究では変形能力には触れず曲げ耐力の弱いほうが先に破壊するとした『曲げ耐力型』の破壊説であったが、曲げ耐力とは関係なく『変形能力型』の破壊説であればこれまでの矛盾が解決できる。

マンションの基礎杭の中に変形能

力の大きい杭と小さい杭がもしも混在していれば、先に破壊するのは変形能力の小さい杭に決まっている。

これは第1、2段階が無いのでほとんど杭はたわんでない：変形していない…という意味である。

日々悩んでいたのですぐにこれだ！と思つた。M係長の言つた『ひび割れが入る前に圧壊する』とは何を意味するのか。通常の曲げ試験であれば、第1段階…曲げ荷重をかけると杭は中央部でたわむ。第2段階…荷重を更に増すとたわみも増え破壊に至る。しかし、M係長はひび割れが入る前に破壊に至る、と言つた。これは上記の第1、第2段階無いでいきなり第3段階に飛びるので破壊が予測困難という意味になる。更に大事なことは第1、2段階が無いのでほとんどの杭はたわんでない：変形していない…という意味である。

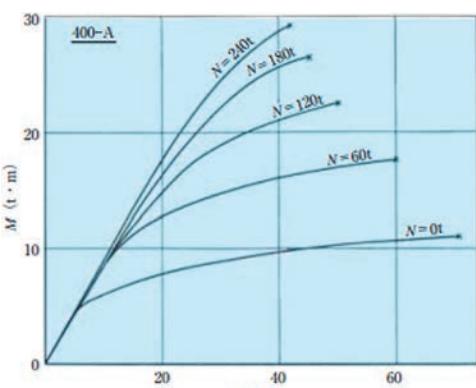


図-3 軸力を付加したPHC杭の曲げ耐力～たわみ曲線

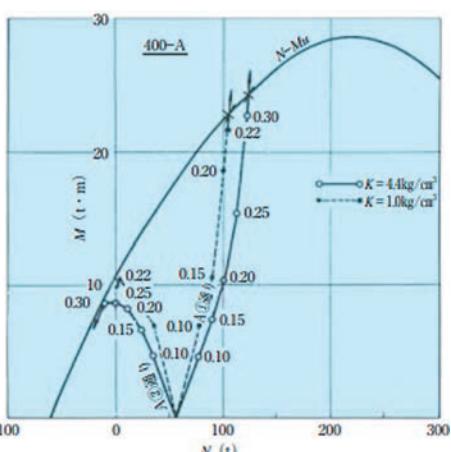


図-4 $N \sim M_M$ 図と杭頭モーメント

1・6 建築学会大会への投稿

前記の内容を1983年(S 58年)6月の第18回土質工学研究発表会に投稿した。私の地動説は軸力曲げ試験結果を考慮したものである。図-3に示すように杭の曲げ耐力は軸力とともに増大する。図-3より明らかのようにPHC杭外径400 mm、A種の場合軸力 \geq がゼロのとき $M=10$ t \cdot m程度で破壊する。図-3をよく見ると $M=6$ t \cdot m程度でひび割れが入つて直線的な初期勾配から外れ、荷重の増加は少なくなるが横軸の変形は急増する。一方軸力 \geq が増大して $M=240$ t \cdot mになつたとき $M=30$ t \cdot mで破壊することがわかる。更に破壊にいたるまで荷重 \downarrow たわみ

δ 曲線はほとんど直線的なので初期ひび割れすら生じたのかどうかもよく判らない。このように軸力 \geq の増大は破壊曲げモーメント M_u の比で最も重要なことは軸力の増加に比例的な増加をもたらす。しかし、この曲げ耐力の増加ではなく、破壊に至るまでの『たわみの減少、変形能力の減少』である。従來說で用いた $M \sim \delta$ 図は曲げ耐力のみに着目して変形能力は全く考慮されていない。これでは天動説しか導けない。変形能力に着目すると自動的に地動説が導ける。

図-3の変形能力を考慮し $M \sim \delta$ 図の中に杭の動きを書き入れると従来のX型の動きではなく図-4に

示すように全く違つたものになる。

図-4に示すように軸力が減少する杭はひび割れが入つてから耐力が上がらなくなり M_u 曲線の手前で一旦停止しUターンする。一方軸力が増大する杭は、一旦停止して機能しなくなつた軸力減少側の杭の水平力まで負担することになつて水平力は急増する。

これによつてモーメントも急増するが変形能力がないので先に破壊する。軸力が大きい強い杭が先に壊れる地動説である。

1・7 東京工業大学吉見吉昭教授の「メントを上司が却下！」

前述の土質工学会大会で発表した

時の主査は東京工大建築学科吉見吉昭教授でした。この発表を聞いて先生から『面白い学説ですね。いちど再現実験をされると良いですね。』とのコメントがあつた。確かに頭で考えた理論だけで自信はあつたが、再現試験をしたい、と相談するとあつさり却下された。『おまえの遊びに会社は付き合つていられない！』と、もつともな理由であつた。

発表した1983年は2年後85年か

ら始まる我が国バブル景気の直前で、日本経済も自社も不況下、まだ苦境の中にあつたからである。

1・8 それでも再現実験勝ち取る！

再現試験をしたいという私の提案を却下した上司は高木希昭という部長で、我が国初のPHC杭や杭先端拡大根固め工法（大臣認定工法）を発明した業界では有名人で、エジソン的な方だつた。商品開発には積極的でもこのようないきねん基礎研究はすぐに新商品とはならないので遊びと感じられたかも知れない。この再現試験をするにはPHC杭を大型の杭打ち機で施工する必要があり最低数百万

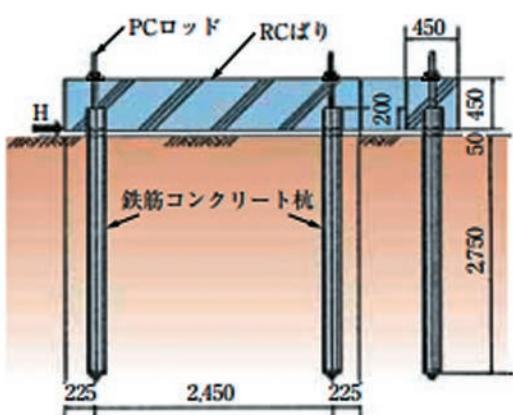


図-5 軸力を付加した杭の水平載荷試験体

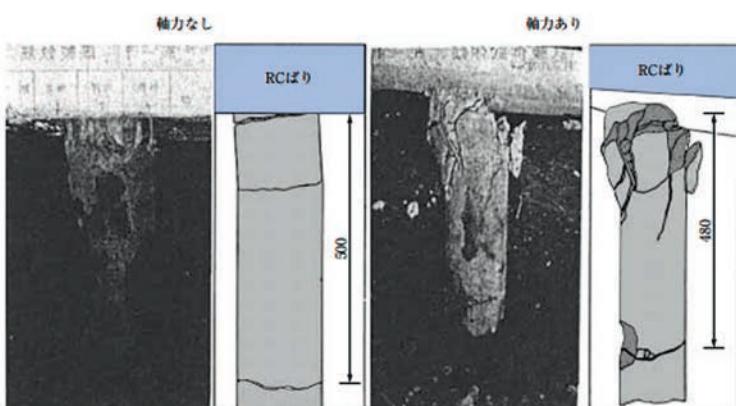
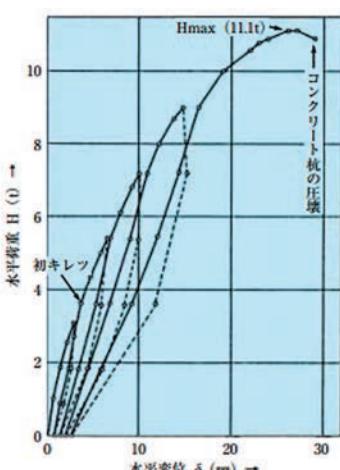


図-6 水平載荷試験後の杭頭破損状況

3mのRC杭。杭の施工はヘーベルハウスの打ち込み鋼管杭を専門としていたさいたま市の千代田工営。1月の雪が降る中でRC杭を打撃施工した。図-5に示すように2本1組のRC杭を2,45m離して打ち、杭

頭を基礎梁で連結し、杭の中空部に力を取り付加した。更に軸力を付加しない杭はひび割れのみで無被害であり、軸力の大きい杭が大きい水平力を負担して先に破壊する

1・9 地動説の立証！

試験結果は図-6に示すように軸力を付加した杭は杭頭が圧壊し、軸力を付加しない杭はひび割れのみで無被害であり、軸力の大きい杭が大きい水平力を負担して先に破壊する

頭を基礎梁で連結し、杭の中空部に力を付加した。更に軸力を付加しない2本の杭による基礎梁も作り、水平載荷試験で両者を比較した。

地動説は立証された。

地震被害を受けて破壊したのは PHC杭。本再現試験で使用した杭は RC杭。中にはPHC杭とRC杭は違うのでは、との意見もあった。そこで本物のPHC杭を使用して2度目の再現試験をしたいと思つていたらその機会は意外に早くやつってきた。昭和60年代に入つてバブルが始まり会社の景気が回復したこと、新杭の認定申請で杭打ちの必要があつたこと、更に却下した部長が定年退職したこと、などである。この2度目の再現試験の実施を東京工大岸田英明教授ら一部の先生方へお知らせした。東大建築学科青山博一教授、小谷俊介助教授らは多数の大学院生を伴つて来られた。私は研究所に転勤していたので後任の吉田茂（開土S46）さんらが実務を担当した。皆が見学する中で水平載荷試験は始まり、最後は大音響で杭が破壊した。ユンボで地盤を掘削してみると杭頭は地震被害と同じだった。これで地動説は証明された。

（次号につづく）