

既存鉄筋コンクリート建物のバットレス補強における杭基礎設計の検討
- 旧耐震設計法で設計された庁舎建築を例として -

高知工科大学大学院基盤工学専攻 社会システム工学コース
1055151 西谷憲治

・ 研究の背景

現在、南海地震の発生確率は今後 30 年以内に 40%と言われ、建物への耐震対策は重要視されている。しかし実際に対策が進んでいるのは一部で、災害時の防災拠点となる公共建物でさえ耐震対策が進んでいるとは言えない。この原因の1つとして建物の耐震補強を行う場合、補強工事期間中、その建物の機能が発揮できない、また、代替建物に移転しても、その費用が莫大となるためと考えられる。

その点、耐震対策としてその建物の機能を維持したまま補強工事ができるバットレス(控え壁)補強は有効である。しかし、バットレスは外力が作用した際回転する特性があり、この回転量を制御しなければ耐震補強としての機能を果たさない。この回転の抵抗機構としての杭基礎の設計は重要である。

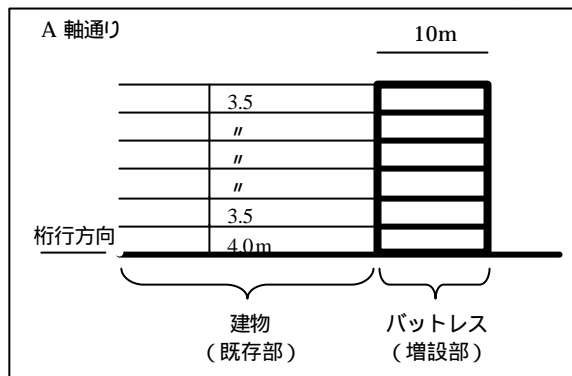


図. バットレスのプロポーション

・ 研究の目的

そこで、本研究はバットレスの回転を許容値以下に抑える杭基礎の適切な設計を行うための、基礎的な研究として、杭基礎に必要な条件とその問題点を考察することを目的とする。

・ 研究の方法

補強前の建物の耐震特性からせん断破壊が発生しない目標値を設定する。その目標値とバットレスの回転量より軸力と沈下量を想定する。この想定値を杭基礎により制御できるかを解析することでバットレスの回転を支持する機構としての杭基礎の有効性を検討する。

・ 既往研究の状況と本研究の位置づけ

建築構造物に対するバットレス補強に関する既往の研究は少なく、実際の設計・施工例も公共建物においてはRC造4階建の学校建築1例あるだけ[株根本英建築設計事務所, 1996]で、この補強方法の研究及び施工はされていない。しかし、上記に見るように耐震補強における利点も多く、その特性について研究する必要がある。

・ 対象建物の選定

本研究では高知県庁本館棟を対象建物に選定した。その理由は2つある。1つ目はこの建物が旧規準で設計されている点である。旧耐震設計法は柱の帯筋間隔が粗く設定されているため柱のせん断破壊の危険性が高い。過去の地震被害を見ても本設計法で設計された建物の倒壊例は多い。本研究では耐震補強によってせん断破壊を発生させないことを目標とする。2つ目の選定理由は庁舎建築の用途である。庁舎建築は住民の生活と密接な関わりを持ち、災害時には防災上の拠点としてその機能を要求される。また、現地調査から本対象地には十分な敷地があることが分かっている。この点もバットレス補強を研究する上で重要な要素である。

・2次元フレーム静的弾塑性解析による耐震補強前の建物性状

静的弾塑性解析は、桁行方向を解析対象とし、各階床位置に水平方向に同一変位する剛床仮定を適用し、各節点到鉛直、回転の2自由度を考慮した平面フレームモデルとする。各層に水平力分布を与え荷重増分解析を行う。

レベル2の地震動を想定した設計地震力に対し各層の変形分布は全体的に2つの傾向に分かれた。大きな変位を示す下層と、比較的小さい変位を示す上層の2つである。どちらも変位量には違いがあるがほぼ均等な割合で進んでいる。しかし、曲げ降伏に至る前にせん断破壊が起こった。使用解析ソフトはせん断破壊型の建物の解析を行うことはできないので解析を止めた。

・バットレスの目標値の設定

本建物にはせん断破壊先行型の部材が多く存在していた。そこで本研究では建物外部にバットレスを増設することで各層の耐力を向上させ、部材がせん断破壊を起こさないようにすることを目標とする。各層に最初にせん断破壊が発生した時点での層間変位が1.5cm程度であることから補強後の層間変位の目標値を各層1cm、最上階で6cmとする。この時の層水平力と層耐力との差が建物各層で不足している耐力(=バットレスの負担力)となる。また、バットレス自体を剛体と仮定しているので建物に外力が伝わった際バットレス自体は回転する。この負担力と回転量からバットレスの軸力975tと沈下量2.79cmを目標値として想定する。

・支持抵抗機構の設計

本研究ではバットレスの回転量を制御することで建物各部材にせん断破壊が発生しないように設定している。バットレス補強の機能を維持するためには、バットレスの耐力だけでなくバットレスの回転量を目標値の想定軸力975t時に想定沈下量2.79cm以下に抑えなければならない。この点を考慮して支持抵抗機構として杭基礎を設計する。

1)鉛直杭 バットレスの回転量を鉛直杭1本で支持する。一般的に杭基礎の極限支持力時の沈下量は $0.1d$ (d :杭径)と言われているが[社団法人日本建築学会, 2001:228]、本研究ではバットレスの回転量を制御しなければならないので想定軸力975t時に沈下量を2.79cm以下に抑えることのできる鉛直杭を設計する必要がある。荷重沈下曲線より目標値に合う杭径を求めると現在の施工技術の範囲を超える大きさになる。先端支持力が同じになる先端断面積を持つ拡底杭でも同じである。そこで、バットレスの接地面の長さを調節して鉛直杭の軸力を低減する。バットレス長さを1m延ばすと実沈下量は目標沈下量に収まり杭径も施工範囲内になる。しかし、単純にバットレスの横の長さを大きくするには十分な敷地が必要であり実用的ではないと思われる。

2)斜杭 バットレスの回転量を斜杭で支持する(右図参照)。鉛直材の長さをパラメータとし斜杭の部材寸法や軸力等の要素を調べることでバットレスの回転量を斜杭で支持する可能性を検討する。斜杭は斜材と鉛直杭とを接合することで斜材に加わる軸力を鉛直材の引抜力で負担するものである。そのため先端支持力や周面摩擦力などの地盤耐力に左右されることが無い。また、バットレスの回転により斜杭

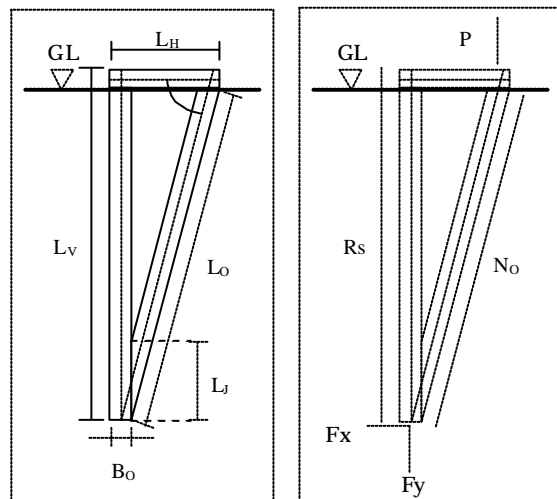


図. 斜杭のプロポーシオン

自体も回転する。この時の水平成分は鉛直杭の水平反力で負担することとする。この時の鉛直杭長さとの関係を表すと右図のようになる。このように極端に水平反力が不足することがある。これは反力伝達面を大きくすることで対応ができると考える。

・耐震補強後の地震応答

バトレス補強を行った建物でレベル2の地震動を想定した荷重増分解析を行うと最上階の最大変位が1.5cm以内に収まる結果が得られた。層間変形角も小さい値を示し現在の耐震設計法の基準を十分満たしている。補強前と比べ各層とも応答が進み偏った耐力の分布は見られない。また、部材にも集中的な耐力低下は見られずクラックやヒンジはほとんど発生していない。

地震動応答解析は入力地震動に、エルセントロ、八戸、宮城、神戸の地震波を用いる。これらの地震波の最大速度を50, 70kineに基準化して用いる。結果、50kineに基準化した場合の各層最大層間変位は全て1.5cm以内に収まっていた。また、70kineに基準化した場合は、神戸の地震波以外は各層最大層間変位が1.75cm以内に収まった。バトレス補強を行えばせん断破壊を発生させないことが可能であることを示している。

・結論

バトレスの回転を抑えるために杭基礎に必要な条件は以下の通りである。

鉛直杭で支持する場合・現行の杭の施工能力範囲に抑えるため、バトレス長さにより杭径を調節する斜杭で支持する場合・斜材と鉛直材との力の伝達で軸力の鉛直成分を処理する

・先端での水平成分は鉛直材の水平反力で抵抗させる

また、バトレスの回転を杭基礎で抑える時間問題となる点は以下の通りである。

鉛直杭で支持する場合・鉛直杭の施工範囲に合わせてバトレス長さを変更させる場合更に広い敷地が必要となる

斜杭で支持する場合・先端での水平成分を負担する鉛直材の水平反力が不足する場合がある

・反力伝達面を大きくする等の工夫が必要引用・参考文献一覧

社団法人日本建築学会，2001，建築基礎構造設計指針

(株)根本英建築設計事務所，1996，県立土浦第一高等学校管理教室棟耐震補強工事 耐震補強計画報告書

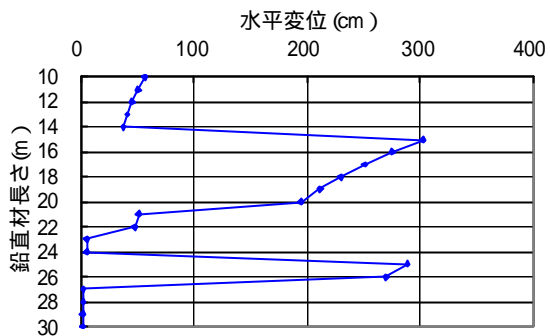


図 鉛直材長さ - 先端水平変位関係

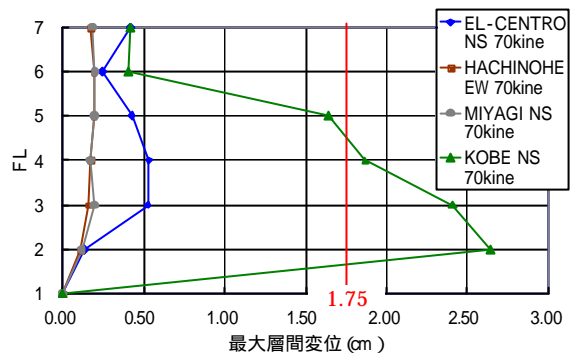


図 最大応答時の各層最大層間変位

**Discussion on Pile Design Process for Buttress-strengthening
of Existing Reinforced Concrete Building.**

-The Case Study for Public Building Designed through the Old Seismic Design Standards-

Kochi University of Technology Graduate School of Engineering
Department of Engineering
Infrastructure Systems Engineering Course
1055151 Kenji NISHITANI

This research work discusses about the feasibility of the most effective method of seismic improvement of existing reinforced building without any disturbing the activity of its office function. Selecting the Kochi prefecture office building, the buttress strengthening. However the buttress strengthening requires rigid rotation resistance at the foundation systems. And at the same time the resistant story drift angle of each story should be limited within the story drift angle $1/150$ so that columns of existing structure never occur shear failure.

For the first step of analytical procedure, static elasto-plastic frame analysis was carried out for the confirmation of required shear capacity can be realized within the target story drift. This series of analysis was applied only to the bay direction. In order to protect shear failure of columns in existing building, the target limit response story drift was decided as 1.0 cm in each story. It was easy to construct upper part of the buttress, however the settlement of piles which support upper buttress should be very important. This case the pile of each buttress will be loaded 975 ton. For such axial load to the pile, the proportional allowable settlement is less than 2.8 cm. It was solved that the horizontal length of buttress could be a little enlarged. Then the required additional shear capacity by buttress could be sufficiently controlled considering limited deformation.

Besides this typical strengthening method, another pile setting system was also tried to be developed. The pile system needs enough depth reaching hard soil layers. So the length of pile will be much longer which will lead high cost. Constructing “triangular shape of the forces”, much low cost foundation system was devised. This method can be applied in deep soft soil layers without expecting enough strong soil layers. However such detailed construction procedure should be discussed in much more detail parts.