

杭式長大栈橋の地震応答解析

早稲田大学理工学部土木工学科（学生員） 横井 孝征
 早稲田大学理工学部土木工学科（学生員） 鶴田 直樹
 早稲田大学理工学部土木工学科（フェロー） 清宮 理

1. はじめに 海上に長大構造物を建設する場合、代表的な構造形式の一つとして鋼管杭式栈橋がある。しかしこの構造は国内ではコンテナバースなどの実績はあるものの、空港や洋上橋梁としての長大栈橋構造物は国内では未だ建設されていない。しかし現在いくつかの長大栈橋構造が計画されている。本研究では長大栈橋式構造物を解析の対象に取り上げ、長大栈橋の地震時の動的特性の把握と解析条件による計算結果の差異をしらべるために、TDAP による地震応答解析を行い計算結果について述べる。

2. 解析モデル 解析モデルは長大栈橋構造物（海上空港を想定）の横断方向の二次元モデルを対象とした。栈橋構造は直杭式とし、床版は鉄筋コンクリート製で水平方向に250m、桁高を2m、奥行きを10mとし、メッシュは水平方向に2.5m 間隔で切り平面歪み要素の数は100個とした。床版の構造は、大型航空機を想定して仮に設定したもので、PC化、合成構造化、ジャケット化により薄くすることが可能である。今回はこの床版は鋼管杭に比較して剛性が高いことから破壊についての検討（モデル化）はしていない。杭は根入れ深さ50m、突出長さ20mとした。杭の外径は1800mm、材質はSTK490で杭の間隔は7.5m間隔とした。メッシュは鉛直方向に5m 間隔で切り、要素数は462個とした。鋼管の厚さ(以下板厚)は解析ごとに変化させた。地盤は水平方向に3000m、鉛直方向に100mとし、表層地盤のメッシュは図1に示すように切り、平面歪み要素の数は2520個とした。地盤条件は比較的軟弱な地盤を想定した。層厚は、表面から30.5,32.5,21.0 および14.0mである。表層地盤の一次固有周期は、0.6Hzである。表層の初期せん断弾性係数 G_0 は 8526kN/m^2 、減衰定数 h_{\max} は約0.25であ

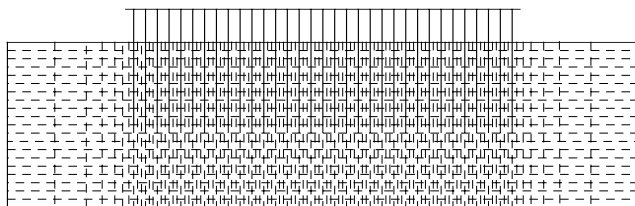


図1 解析モデル

る。また杭と地盤については材料非線形性を考慮し、杭はトリリニアモデル、地盤はRamberg-Osgoodモデルを用いた。

3. 解析の概要 解析は有限要素法汎用プログラム TDAP で行い、入力地震波は阪神淡路大震災におけるポートアイランド観測地震波（最大加速度 679Gal ）を用いた。今回この地震波をレベル2地震動とみなしたが、長大栈橋の使用目的によりどの程度の耐震性能（じんせい率など）を保持すべきか議論していないので、港湾の技術上の基準に準じて鋼材の降伏程度を目安として耐震設計で設定される諸元について検討をした。

(1) 直杭式栈橋の鋼管杭がどの程度の諸元になるかの検討を行った。まず、一般的な板厚19mmで解析を行い、降伏する場合外径は変えずに板厚を変化させ構造を強化し直杭式栈橋に採用可能なものを考える。今回は、板厚を19、24、32、40、および46mmと変化させ非線形解析を行った。

(2) 均一地盤と地質変化のある地盤での栈橋構造の挙動を比較するために図2に示すような単純な地盤条件を想定した。図2のように地盤の左端より1500mの上半分50mを(1)で用いた地盤に対してせん断弾性係数を()0.8倍、()0.6倍にすることにより地盤を軟弱化させ、解析を行った。また、今回の解析において、断面力に偏りが出たので鋼管杭の構造の補強方法も考えた。

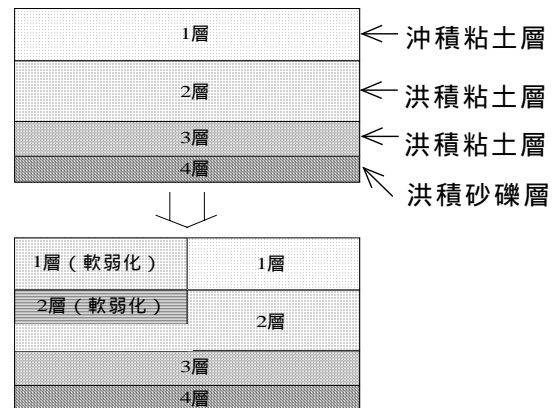


図2 地盤の条件変化部の取り扱い

キーワード：鋼管杭式長大栈橋、地震応答計算、杭頭曲げモーメント、非線形解析

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 早稲田大学土木工学科 TEL03-5286-3852

4. 解析結果 杭の設計条件は曲げモーメントによる鋼材の降伏を考え、杭頭において最大曲げモーメントに注目した。曲げモーメント M と曲率 κ の関係はトリリニアモデルとし、板厚 19mm の鋼材の $M - \kappa$ 関係を図 3 に示す。鋼管の板厚が 32mm での計算された各杭頭の最大曲げモーメントの分布を図 4 に示す。曲げモーメント値は各所でほぼ一様であったが、ほぼ降伏曲げモーメントの値であった。

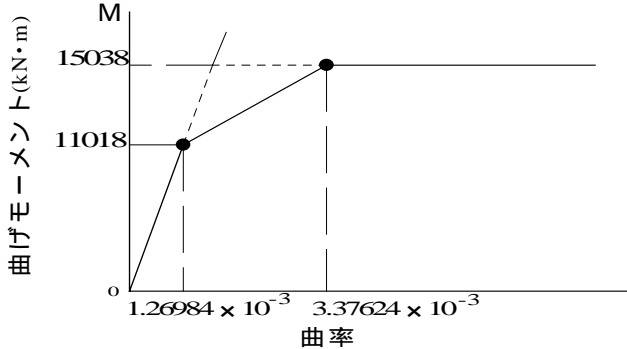


図 3 M - κ 関係

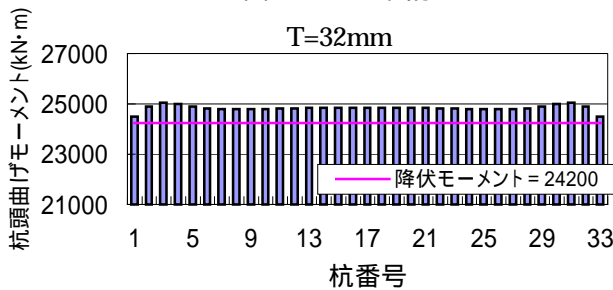


図 4 杭頭の曲げモーメントの分布

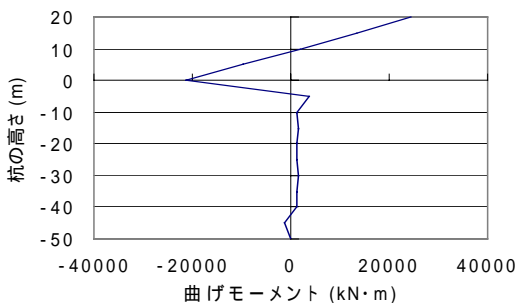


図 5 鋼管杭の深さ方向の曲げモーメントの分布

板厚 19mm の場合、杭頭では降伏曲げモーメントを超え、塑性曲げモーメントに入ってしまう。この材質の鋼管杭では 32mm 以上の板厚が必要となり、製造がかなり困難な諸元となり、何らかの対策が必要となる。

軟弱化による影響 (杭頭モーメント)

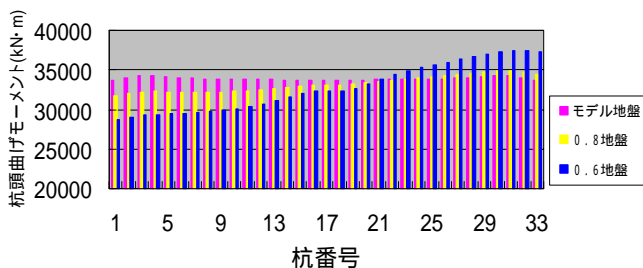


図 6 地盤条件変化部による影響

図 6 に板厚が 32mm のときの中央部で地盤条件が変化する場合の杭頭変位の分布図を示す。表層地盤の強度を低下させた方が表層地盤の固有周期が長くなり、それに伴い断面力は今回軟らかくした箇所で低下し、他方が増加する傾向が見られた。今回地盤条件を中央で単純に分けたが、地盤条件の変化により杭頭曲げモーメントが局所の地盤条件だけでなく全体系の影響を受けることがわかる。このことから一体化された長大栈橋では全体系での解析が重要と考える。もし、このことを考慮して板厚を増す補強方法を採用すると、杭頭の曲げモーメントは、図 6 に示すように大きくシフトすることがわかる。ただし、この計算は、曲げモーメントの変化状況を判りやすくするため杭を線形とみなして計算した場合である。

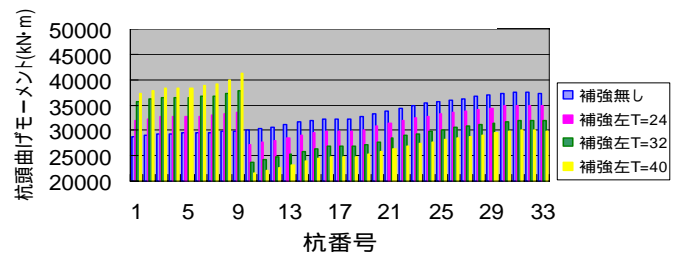
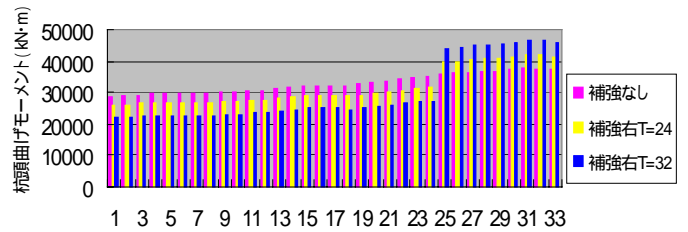


図 7 補強による断面力の推移

5. 結論 (1) 今回の計算モデルでは、鋼管杭の板厚が 32mm 以上必要となる。ところが、この板厚の鋼管杭の製造は困難である。ゆえに、今回の諸元での直杭式での建設は難しいと考えられる。この対策方法としては、ジャケット化、免震化、合成構造化等各種の方法が考えられる。また長大構造物をブロック化して離すことも考えられる。床版の構造形式についても、耐震上、上部工の質量に反映されることから今後考える必要がある。

(2) 表層地盤の条件が場所ごとに変わると、断面力が一様分布から長大構造物内で異なってくる。このとき増加した方を補強するとさらに断面力集中が増すことが分かる。長大構造物を設計する際には、全体系での解析が必要となる。

長大構造物では、地盤条件の変化状況を正確に反映させる必要がある。今回計算を始めたばかりで検討が十分でないが、各種の課題に対して今後さらに検討を加えたい。