

杭式長大栈橋の地震時杭断面力の低減の方策に関する一考察

早稲田大学理工学部土木工学科（学生会員） 横井 孝征

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 海上に大規模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大規模な長大栈橋構造物が計画されている。この構造は地震時に大きな断面力が杭に生じることが予測される。本研究では、長大栈橋の地震時の動的特性の把握と杭の断面力低減の方策をしらべるために、TDAP による地震応答解析を行ったのでこの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。地盤は水平方向に500m、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2240個とした。地盤条件は表層地盤が非常に軟弱な地盤を想定した。層厚は、表面から30,35,10,および25mである。表層地盤の一次固有周期は、0.4Hzと低振動数である。表層の初期せん断弾性係数 G_0 は1500kN/m²、減衰定数 h_{max} は約0.12である。

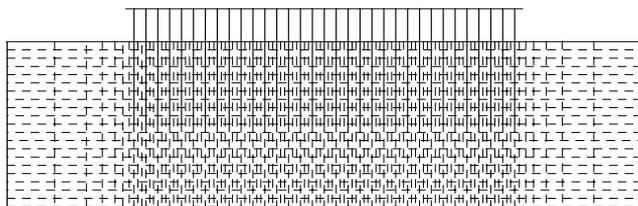


図1 解析モデル

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。

(1)鉄筋コンクリート製の床版を軽量コンクリートを用いて軽量化することにより断面力にどのような変化が現れるのか解析を行った。具体的には床版の単位体積重量2.35tf/m³を1.9tf/m³に軽量化した場合の軸力、せん断力、杭頭曲げモーメントに関して軽量化を行わないものと比較検討した。

(2)想定している軟弱地盤の表層を地盤改良することにより断面力にどのような変化が現れるのか解析を行った。具体的には表層10m、20mに関して深層混合処理工法として高圧噴射攪拌工法を施した場合を想定し、軸力、せん断力、杭頭曲げモーメントに関して地盤改良を行わないものと比較検討した。改良地盤のせん断弾性係数は15000kN/m²、減衰定数0.05で材料非線形性は考慮していない。

(3)鉄筋コンクリート製の床版について軽量コンクリートを用いて軽量化を施すと同時に地盤改良を行った場合、断面力にどのような変化が現れるのか解析を行った。

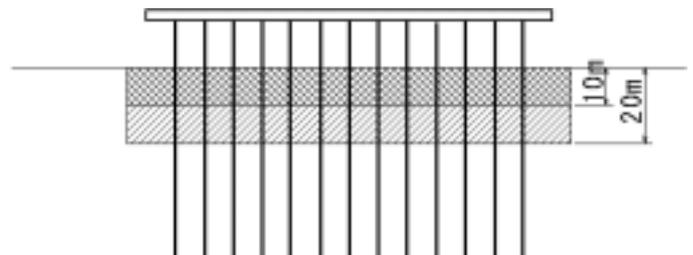


図2 改良地盤の範囲（深さ10m, 20m）

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 θ の関係はトリリニアモデルとし、板厚19mmの鋼材の $M-\theta$ 関係を図3に示す。

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 TEL 03-5286-3852

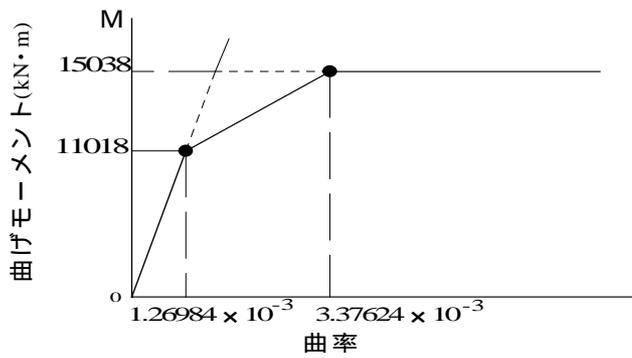


図3 M - 関係

床版を軽量化(単位体積重量 1.9tf/m³)した結果(図4) 杭頭曲げモーメントが最大11%低減されており、板厚24mmの鋼管杭の降伏曲げモーメント以下に低減されていることがわかった。

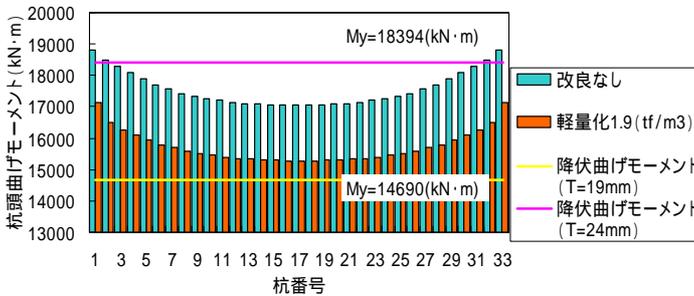


図4 床版軽量化との比較

地盤改良しない場合の表層地盤の海底面での水平変位は47cmで地盤改良しても46cmと大きな差はなく表層のみ地盤改良しても水平変位を低減することにならず鋼管の全体的な変形を抑えることができる。

表層地盤に地盤改良を施した結果(図5) 改良後は両端の杭付近の断面力集中が緩和され、最大16%改良前よりも杭頭曲げモーメントが低減し、この結果、板厚24mmの鋼管杭の降伏曲げモーメントよりも低減された。しかし軽量化による構造もこの地盤改良による構造もともに板厚19mmでの建設は困難であることがわかる。

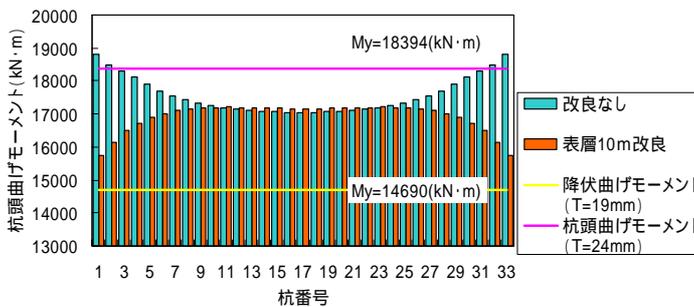


図5 地盤改良したものとの比較

次に床版を軽量化し、表層地盤10mについて地盤改良を施したところ(図6) 両端の杭付近の断面力集中が緩和され

つつ、全体的に杭頭曲げモーメントの低減が見られた。この結果、最大で30%、改良前よりも杭頭曲げモーメントの値が低減され、板厚19mmでの建設が理論上可能となった。また図7に曲げモーメントの深さ方向の分布を示す。

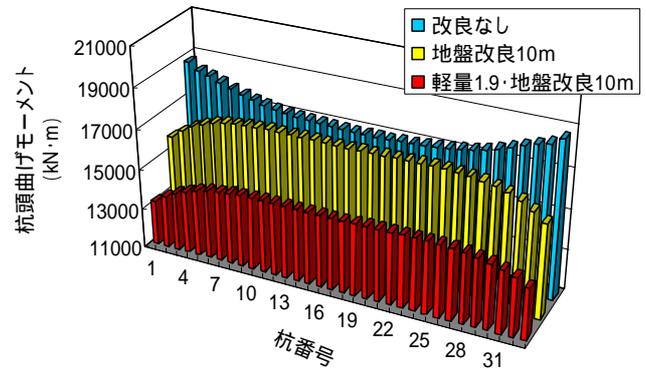


図6 合成改良化との比較

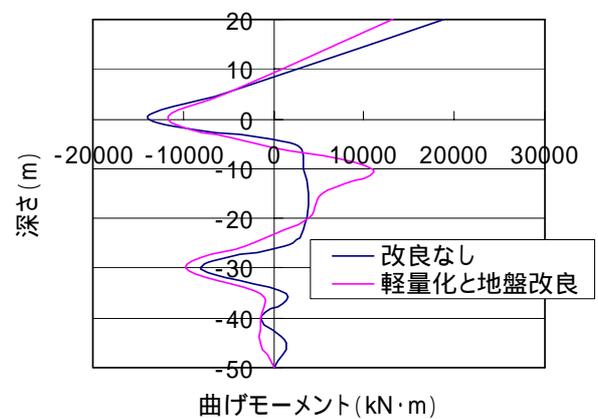


図7 深さ方向の曲げモーメント推移

杭頭に関しては対策を施すと曲げモーメントは低減するが、地盤改良した箇所の下端で曲げモーメントが増加した。

結論 (1) 今回想定した鋼管杭の規模では、レベル2地震動に対して大きな杭頭曲げモーメントが計算されなんらかの対策が必要となった。今回対策工法として、表層地盤の地盤改良工法と床版の軽量化を取り上げたところ一工法では十分な杭との曲げモーメント低減が図れなかったが、両者を組み合わせることにより30%程度と期待された効果が得られた。(2) 杭軸力、せん断力とも低減効果が見られた。今後地盤改良範囲を変えたり免震構造化、合成構造化など他工法の検討を行いたい。(3) 地盤改良をすると改良範囲の下端で大きな曲げモーメントの発生の可能性があるので注意が必要である。

参考文献) 横井孝征、清宮理：杭式長大栈橋の地震応答解析、第57回土木学会学術年次講演会、第 部門、2002.9