

地震リスクを考慮したLCCによる杭基礎構造物の耐震補強評価

東電設計（株）	正会員	鈴木 修一
東電設計（株）	正会員	吉田 郁政
東電設計（株）	正会員	兵頭 順一
東京電力（株）	正会員	赤石沢 総光
東京電力（株）	正会員	佐藤 博

1. はじめに

兵庫県南部地震を契機に、既設構造物の耐震補強の重要性が認識され、合理的かつ客観的な耐震補強の判断手法が求められている。そこで、本研究では既設構造物の耐震補強の必要性に関して、リスクを考慮したLCCの観点からの評価を試みた。本報告では、文献¹⁾と同じ既設の杭基礎構造物を対象として、二次元有効応力解析に基づくLCCの試算事例を示す。

2. 評価方法の概要

地震リスクを考慮したLCCは、(1)式に示すように耐震補強コストと地震リスクの総和として算定される。地震リスクは、地震による構造物の損傷確率と損傷時コストの積として表されるものである。構造物の損傷確率は、年損傷確率と構造物の供用期間より(2)式により算定できる。また、年損傷確率は(3)式に示すように構造解析より求めた損傷度曲線と地震危険度曲線を数値積分して算定する。

$$LCC = C_I + P_{IT} C_f \dots\dots(1) \quad , P_{IT} = 1 - (1 - P_f)^T \dots\dots(2) \quad , P_f = \int_0^{\infty} F_r(x) \frac{dF_s(x)}{dx} dx \dots\dots(3)$$

ここに、 C_I :補強コスト、 $P_{IT} C_f$:リスク(損傷確率×損傷時コスト)、 P_f :年損傷確率

T :構造物の供用期間、 $F_r(x)$:損傷度曲線、 $F_s(x)$:地震危険度曲線

3. LCCの試算

3.1 検討条件

対象とした杭基礎構造物は昭和42年に構築されたもので、図-1に示すように機器荷重600tが作用するコンクリート躯体と6本の鋼管杭(600mm, t=9.5mm, L=62m)からなる。構造物の周辺地盤は、地表面から約10mが埋戻し土で、その下に沖積層および洪積層が堆積している。埋戻し土直下約7mの区間はN値が10程度の砂層で、大きな地震が発生すると液状化の危険性が高い地層である。

このような条件に対して、いくつかの耐震補強工法の中から地盤改良工法(SCP工法)、増杭工法、鋼矢板囲込み工法を選定した。各工法の概要を表-1に示す。ここでは、これらの工法と補強なしの4つのケースに対してLCCによる評価を行う。その際の構造物の残存供用期間は35年とした。

また、杭基礎構造物の限界状態は、地震によりすべての杭体で過大な損傷が生じた状態とした。その照査方法は鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)²⁾に準拠し、照査値として部材の発生曲率/部材座屈時の曲率を用いる。

3.2 損傷度解析

地中埋設構造物の耐震設計では、応答変位法が比較的良く用いられる。これは、一次元地盤応答解析より求めた応答変位を二次元フレームモデルに作用させて構造解析を行う方法である¹⁾。しかし、この手法では地盤改良工法の改良幅をモデル化できないため、地盤改良工法の補強効果を適切に評価できない。そこで、本研究では二次元FEM有効応力解析(解析コード:FLIP)による地盤-構造物連成解析手法を損傷度解析に用いた。入力地震動の最大加速度を徐々に大きくし、照査値が1.0となる加速度を算定した。損傷が生じる最小の地震動レベルを限界加速度と呼ぶことにする。図-2に限界加速度の算定結果を示す。鋼矢板囲込み工法は、限界加速度が補強なしに比べて約2倍になり、補強効果の最も大きい工法であった。損傷度曲線はモンテカルロシミュレーション等の信頼性

キーワード 杭基礎構造物, 耐震補強, LCC, 地震リスク

連絡先 〒110-0015 東京都台東区東上野3-3-3 東電設計(株) TEL 03-4464-5527

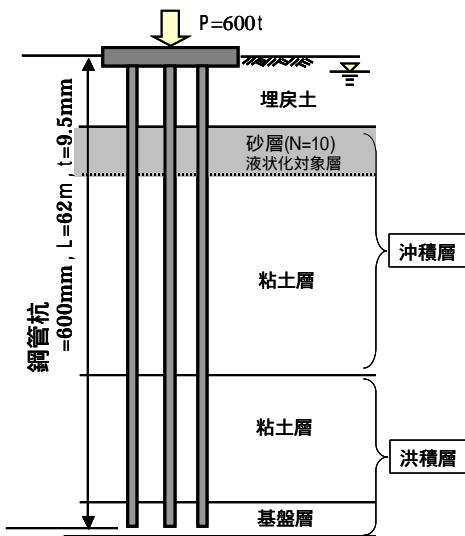


図-1 杭基礎断面図

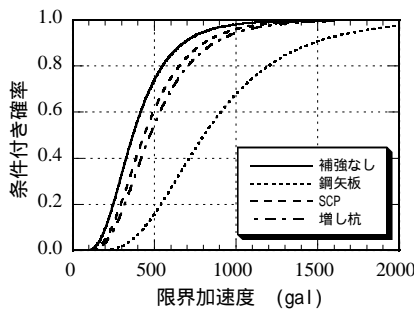


図-3 損傷度曲線

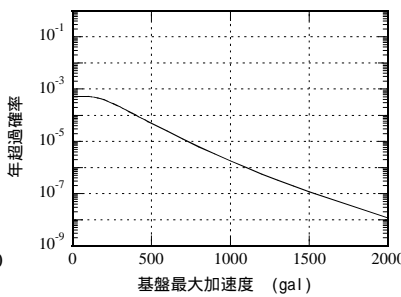


図-4 地震危険度曲線

解析を用いて求めることが望ましい。しかし、二次元有効応力解析手法で信頼性解析を行うことは計算時間が膨大となる。そこで、限界加速度が損傷度曲線の中央値に相当すると考え、限界加速度に変動係数を与えて損傷度曲線を算定した。既往の文献³⁾に基づいて変動係数を0.5とした場合の損傷度曲線を図-3に示す。

3.3 LCCの算定結果

算定した損傷度曲線と図-4に示す地震危険度曲線を用いて年損傷確率を算定した。表-2に各ケースの年損傷確率と耐震補強コストを示す。対象構造物の年損傷確率は $1.7 \times 10^{-4} \sim 2.7 \times 10^{-5}$ 程度であった。これらの値を用いて、いくつかの損傷時コストに対するLCCを算定した。その結果を図-5に示す。図の横軸は損傷時コスト、縦軸はLCCで、両者とも再構築コスト（杭基礎再構築+機器取替コスト）で基準化した。損傷時コストが再構築コストの3倍以下では、補強なしのLCCが最も小さくなるため耐震補強をしない方が良いと考えることができる。損傷時コストが再構築コストの3倍より大きい場合は、鋼矢板囲込み工法のLCCが最も小さくなるため鋼矢板囲込み工法による耐震補強を行うのが良いと考えられる。

4. おわりに

本報告では、リスクを考慮したLCCによる既設構造物の耐震補強評価に関する試算を行い、構造物の損傷時コストに応じた具体的な評価例を示した。LCCによる耐震補強評価は、補強工法の効果を定量的に示すことができ客観性が高い手法と考えられる。

参考文献

- 1)赤石沢総光, 吉田郁政, 佐藤博, 鈴木修一, 荒川武久:地震リスクを考慮した杭基礎構造物の耐震補強に関する意志決定支援, 第11回日本地震工学シンポジウム, pp.2107-2112, 2002.
- 2)鉄道総合研究所:鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 1999.10.
- 3)林康裕, 宮腰淳一, 田村和夫:1995年兵庫県南部地震の建物被害に基づく最大地震速度分布に関する考察, 日本建築学会構造系論文集, 第502号, pp.61-68, 1997.

表-1 耐震補強工法の概要

耐震補強工法	工法の概要
鋼矢板による囲込み工法	基礎の外周に鋼矢板を設置し、液化化層のせん断変形を抑制させる工法
地盤改良工法(SCP工法)	砂地盤を締固めることによって液化化に対する抵抗を増加させる工法
増し杭工法	液化化の発生は許すが施設の被害を軽減する構造的対策工法

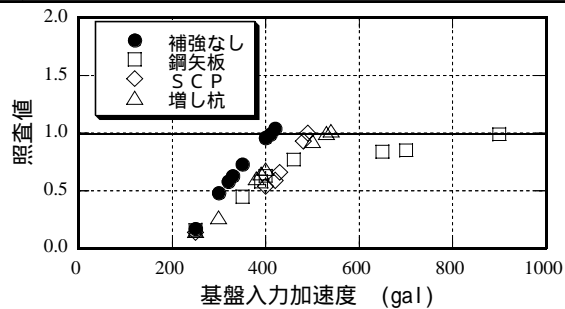


図-2 限界加速度の算定結果

表-2 年損傷確率と耐震補強コスト

耐震補強工法	限界加速度 (gal)	年損傷確率	耐震補強コスト/再構築コスト
補強なし	412	1.66×10^{-4}	-
鋼矢板による囲込み工法	900	2.68×10^{-5}	0.015
地盤改良工法(SCP工法)	490	1.21×10^{-4}	0.050
増し杭工法	530	1.03×10^{-4}	0.017

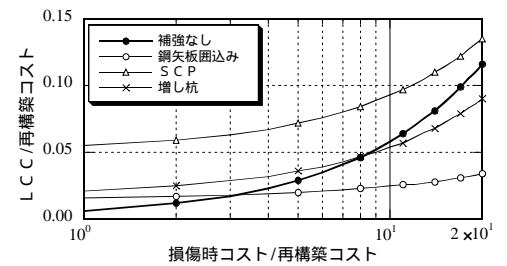


図-5 LCC算定結果