

I-B 410 杭基礎を有する地中ダクト側壁動土圧に関する研究

基礎地盤コンサルタンツ 正会員 鶴見 哲也
埼玉大学大学院 学生員 坂本 賢吾
埼玉大学工学部 正会員 渡辺 啓行

はじめに

地盤に埋設されたダクトのような線状構造物の地震時挙動について、これまでになされた多くの研究からその地震時応答特性が明らかにされてきた。これらの研究は杭などの基礎を有さない、すなわち直接基礎の線状構造物に関するものであったが、発電所施設の冷却海水取排水ダクトのような構造物は臨海地域の非常に軟弱な地盤中に埋設されるため杭基礎を有するダクトも存在している。この現状とは対照的に杭基礎を有する地中ダクトの地震時挙動に関する研究は皆無といえる現状である。

研究の目的

杭基礎を有する地中ダクトの地震時挙動に関する報告が非常に少ないことから、本研究ではまず模型振動実験（共振実験）を実施し、この目的は基礎資料となるデータを蓄積することと、地中ダクトと杭の応答挙動を定性的に把握することである。続いて振動時にダクトに作用する荷重の分担を考え、水平方向の力の釣り合いから地中ダクト側壁に発生する動土圧を定量的に評価する手法の考案を試み、この方法が模型実験の結果を再現するか否かを検討し、その妥当性或いは問題点を明確にすることを目的としている。

模型振動実験

模型構造物は実在するシングルボックスカルバート（実際に杭基礎を有する）を参考に1/40の縮尺で、相似則は井合の支配方程式を基に力の比を一定として作成した。実験にはせん断土槽を使用し、模型地盤は乾燥砂を非常に密に振動により締め固めて再現性の高いものを作成している。また振動台からの入力加速度は地盤材料及び地盤と構造物との境界の応答が著しい非線形挙動を起こさないように50galとし、加振方向はダクト横断面方向とした。なお検討ケースは、自由地盤、ダクトのみを埋設、杭基礎のみを埋設、杭基礎を有するダクトを埋設の4ケースである。実験の結果、杭の応答がダクトの有無による影響を大きく受けず、地盤の応答に追従していることが杭の各測定位置の曲げひずみ応答及び加速度応答から明らかになった。またダクト側壁に亘って生ずる曲げひずみの分布は基礎形態によらず非常に酷似しており、その応答位相も同じであった。このことから、ダクトに働く地盤或いは杭からのせん断力は基礎形態の差異によらず同等程度のものであったと考えられる。またダクト側壁に発生する動土圧の分布が基礎入力1周期間にどのように変化したかを示した図1を見ると、側壁中央部から上部に動土圧が発生しており、とりわけ中央部に最大動土圧が分布していることが分かる。またどの時刻においても、動土圧は側壁のどの位置でも圧縮或いは引張となっていることも分かる。

動土圧の定量的評価

実験で観測された側壁動土圧を定量的に評価するために、ダクトに作用する水平方向への力について簡単なモデル化をし、動土圧を定量的に評価することを試みた。図2の様にダクト一横断面を想定し、ダクトに作用する水平力を分解して各々の量を評価してゆく。まずダクトの天盤・底盤に作用する地盤からのせん断力は3次元波動方程式から算定した。ただし表層地盤は一様な弾性体とし、水平方向に無限であるとした。さらにダクト側壁の1つを取り出し、これを梁として取り扱い、ダクト天盤・底盤に作用する水平力を梁と見立てた側壁の両端に作用するせん断力として考え、これと側壁両端でたわみ角がゼロになる境界条件を用いて側壁の運動を解いている。この際ダクト天盤・底盤に作用する力は2つの側壁に均等に伝達されるものとした。また杭からダクト底盤へ作用する杭頭水平反力は、杭の応答が地盤の応答に追従することと、杭の

設置間隔が奥行き幅とともに杭径のおおよそ6倍程度あり単杭の振動応答と見なせるので田治見¹⁾の理論が適用でき、更に杭がダクトに及ぼす影響は杭の長手方向への設置間隔内で一様であると仮定して近似的に算定した。田治見の理論で杭の水平変位は上部（地上）構造物から杭頭に伝達されるせん断力（杭頭水平力）による変位と地盤の増幅に伴う変位の線形接続で表されており、杭の変位と杭頭水平力の関係から、杭各位置における複素剛性率を算定することができるから、本研究では表層地盤の層厚と同じ長さを有する杭のダクト底盤位置に相当する位置において算定される複素剛性率を用い、この位置での地盤の変位とダクト底盤の変位の相対変位に複素剛性率を乗じることで近似的に杭頭水平反力を与えた。動土圧の評価はウィンクラーの仮説により、ダクトと地盤の相対変形に比例した動土圧が発生するものと考え、地盤反力係数はLysmerの研究から得られた知見より振動数の影響は考慮しないものとした。本研究で用いた地盤反力係数は側壁のどの位置でも一定であるとし、その同定には吉中の実験式²⁾を用いたが、これは剛な円形載荷盤を用いた静的載荷試験から得られた式で、本研究で考えているダクト側壁のように無限の奥行きを持ち、荷重により変形を伴う側壁への適用には難がある。しかし直接基礎の地中ダクトに関する渡辺の研究³⁾でも本研究の様に地盤反力係数を適用して非常に良い解析結果を得ている事実から渡辺の研究を模倣し、吉中の式を採用することにした。但し、本研究では吉中の式に現れる円形載荷盤直径にはダクト側壁の高さを対応させて地盤反力係数を算定したことを断っておく。

解析結果及び問題点

上述のように考案した杭基礎を有する地中ダクト側壁動土圧の定量的評価手法の検証は、模型振動実験の結果をどの程度再現できるかという点を重視して行った。図3に示したものが解析結果である。これと実験結果を比較すると、動土圧応答値のオーダーと動土圧分布の変化の時刻歴応答は実験結果をよく再現しているが、分布の性状については実験で見られた側壁中央部で最大となる現象は再現できていない。この理由として、地中ダクト近傍地盤の応答性状を本研究では考慮しなかったことが挙げられる。本手法はダクト、杭、地盤それぞれを別個に解き、ダクト側壁とその近傍地盤、及びダクト底盤と杭をそれぞれ地盤反力係数・杭の複素剛性率という値を介して連成させたものであり、本来の意味での動的相互作用を考慮しているものではない。今回問題となったダクト周辺地盤の応答性状を言及するには、少なくともダクトとその周辺地盤の応答について連続の条件を満足させる必要があるであろう。

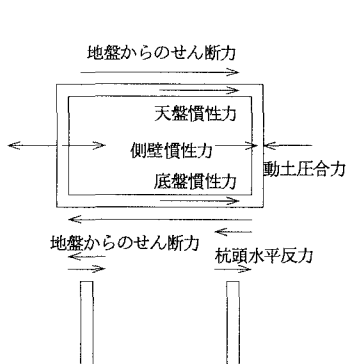


図2 荷重分担モデル

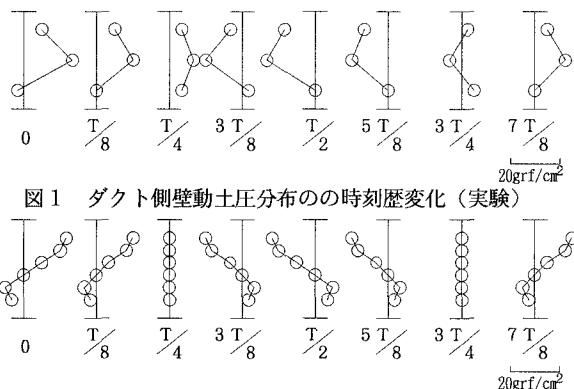


図3 ダクト側壁動土圧分布のの時刻歴変化（解析）

参考文献

- 1) H.Tajimi: Dynamic Analysis of Structure Supported on Deep Foundations, Proceedings of Japan Earthquake Eng. Simpo., pp.225-260, 1966
- 2) 吉中龍之進: 地盤反力係数とその載荷幅による補正, 建設省土木研究所資料第299号, 1967
- 3) 渡辺啓行: 地中ダクト地震時動土圧の理論, 土木学会論文集No.432I-16, pp.185-194, 1991.7