

III-295 乾燥砂中に埋設されたパイプの動的相互作用に関する一考察

防衛大学校（正）○森 雅美・（正）佐藤紘志

1. まえがき

地中構造物の中にはかなり過酷な外力状況、例えば原子力発電所等の社会的に重要な施設の地中配管設備への偶発的な飛来物の落下、衝突などの衝撃的外力に対しても十分な安全性を確保することが要求される場合がある¹⁾。しかし、地中構造物の耐衝撃性は未だ十分解明されていない。本研究は、地中構造物の耐衝撃性を解明するための基礎的段階として、高速荷重を受ける乾燥砂中に埋設された模型管の大変形時における土と構造物の動的相互作用を検討するために行った静的および高速載荷実験結果について述べたものである。

2. 実験の概要

(1) 実験地盤材料 実験に用いた材料は豊浦標準砂である。基礎砂厚部、模型管埋設部と土被り高部の各層毎に突き固めを行うとともに模型管を設置し、三層全体の平均乾燥単位体積重量が $\gamma_d = 1.5 \text{ tf/m}^3$ となるように模型地盤を作成した。なお、土被り高 H は模型管の外径 D に対する比 H/D が 1, 2.5 の2種類に調整した。

(2) 実験装置および方法 実験には、配管用炭素鋼管(JIS G3542 SGP-90A)より作成した外径 $D=100 \text{ mm}$ 、肉厚 $t=2$ と 3 mm ($D/t=50, 33$)、長さ $L=198 \text{ mm}$ の模型管を用いた。実験土槽は図-1に示すように、高さ 80 cm 、奥行き 20 cm 、幅 60 cm の鋼製であり、上載荷重載荷によって土槽が変形しないよう 16 mm 鋼板を溶接接合して製作した十分剛な構造としている。今回の実験の範囲では管軸方向の最大変位量は 1% 程度であり、平面ひずみ条件をほぼ満した。荷重は、模型地盤中央に設置した長さ $B=20 \text{ cm}$ ($B/D=2$) の載荷板に一点集中載荷した。静的載荷実験は通常のアムスラー型万能試験機を、高速載荷実験は図-1に示す防衛大学校所有の高速変形負荷装置を用いて行った。本試験装置は試験体を一定の速度で任意に設定した変位量まで変形させることができるという特徴を有しているため、試験体の弾塑性挙動等に及ぼす載荷速度の影響を調べることができる。なお、本載荷装置の最大荷重容量は 50 tonf 、最大可能変位量は 150 mm である。

(3) 計測項目 静的載荷実験、高速載荷実験とも、荷重と模型管のひずみは各々ひずみゲージ式荷重変換器とひずみゲージを用いて計測した。また、変位に関しては、静的載荷実験においては載荷板の変位をひずみゲージ式変位変換器を、高速載荷実験においては載荷ビームの変位を高速変形負荷装置に付属している差動トランス式変位計を用いて計測した。

3. 実験結果と考察

ここでは、一例として土被り高 $H=10 \text{ cm}$ ($H/D=1$)、管の厚さ $t=3 \text{ mm}$ ($D/t=33$) の場合における静的載荷実験と高速載荷実験の結果を示す。なお、高速載荷実験においては目標変位量を約 50 mm に設定した。

(1) 変位～時間関係 図-2 は高速載荷実験における変位～時間関係を示したものである。これより、立ち上がり部(約 5 msec まで)以降では、約 6 m/sec の一定の載荷速度で約 50 mm の目標変位に到達している。なお、 $t=20 \text{ msec}$ 以降の変位はストローク・ストッパー内のゴムの弾性変形によるものである。

(2) 荷重～変位関係 図-3 は荷重～変位関係を示したものである。これより、高速載荷時の耐力 P は静的載荷時に比し約 $3 \sim 4$ 倍程度増加している傾向が認められる。これは当然のことながら載荷速度の影響(砂のひずみ速度効果)によるものと思われる。

(3) ひずみ～変位関係 図-4 (a), (b) は管の円周方向の各点における外面のひずみ～変位関係を静的

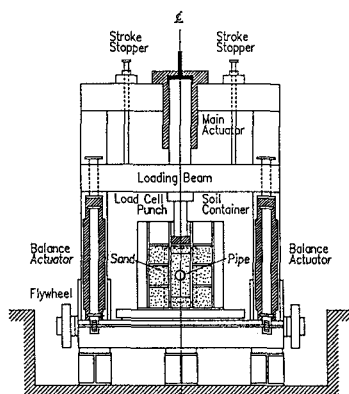


図-1 高速変形負荷装置の概要

載荷時と高速載荷時について示したものである。図中の θ は管頂より時計方向に取っており、実線は管頂($\theta=0^\circ$)、破線は管側方($\theta=90^\circ$)また点線は管底($\theta=180^\circ$)でのひずみを示している。これらより、静的載荷時においては、管頂と管底ではほぼ同じ大きさの圧縮ひずみが、管側方ではそれらと絶対値がほぼ同じである引張ひずみが生じており、各点のひずみとも変位の増加に伴う単調な増加傾向を示している。一方、高速載荷時には、管頂および管底で圧縮ひずみが増加傾向にあり、管頂ではひずみの絶対値が10,000 μ 程度となる変位 $u=20$ mm 付近で、管底ではひずみの絶対値が5,000 μ 程度となる $u=60$ mm 付近で急激な減少傾向を示している。管側方では、引張ひずみが増加傾向にあり、管頂の場合と同様にひずみの絶対値が10,000 μ 程度となる $u=20$ mm 付近で急激に減少し圧縮ひずみに転じている。また、同一変位に対する各点のひずみの絶対値は静的載荷時に比し全般的に2～3倍程度大きいなど静的載荷時における相互作用との相違が明瞭に認められる。

図-5、6は高速載荷時における管頂と管側方の外面と内面のひずみ～変位関係を示したものである。これらより、変位 $u=20$ mm では管の外面と内面のひずみの絶対値はほぼ同程度であり、純曲げ応力状態で安定している。しかし、変位 $u=20$ mm 付近では外面の場合と同様に内面においてもひずみが急激に減少し、一定値に収束する傾向にあることが認められる。

4. あとがき

本研究は、地中構造物の耐衝撃性を解明するための基礎的段階として、静的載荷時と高速載荷時の土と構造物の相互作用の相違を実験的に検討したものである。その結果、高速載荷時には耐力は約3～4倍増加すること、同一変位に対する模型管のひずみは2～3倍程度大きくなるなど静的載荷時の相互作用との相違をある程度まで明らかにすることができた。今後は、今回の高速載荷実験で計測できなかった土圧や模型管の全体的変形形状等を計測する方策を講じ、飽和粘性土地盤に対する高速載荷実験を行う実験的な面と、実験結果を定量的にシミュレートする解析的な面での研究をすすめ、動的相互作用機構を総合的に検討する予定である。最後に、高速載荷実験には防衛大学校動力学実験室の共同利用器材高速変形負荷装置を使用し、実験に際しては元防衛大学校本科学学生小川直樹、三木偉生両君の協力を得た。ここに記して謝意を表します。

（参考文献） 1)例えば、藤本：構造工学論文集 Vol.31A, pp.439-450, 1985.3.

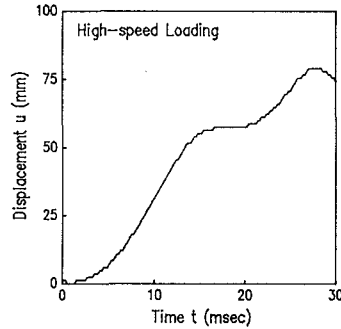


図-2 変位～時間関係

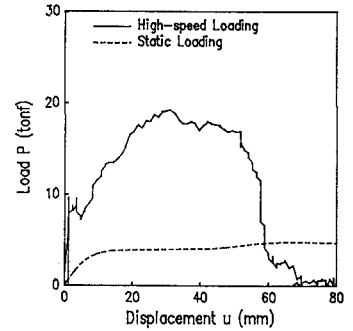
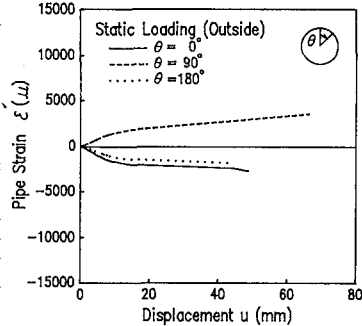
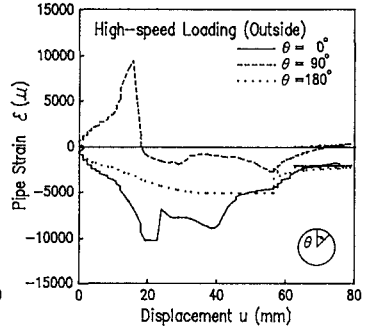


図-3 荷重～変位関係



(a) 静的載荷



(b) 高速載荷

図-4 ひずみ～変位関係の比較

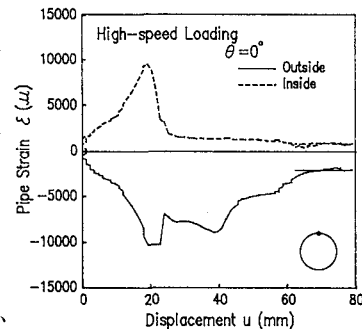


図-5 ひずみ～変位関係(管頂)

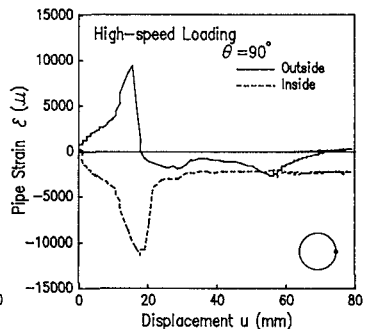


図-6 ひずみ～変位関係(管側方)