

I - B207 高速载荷を受ける砂中埋設鋼管の断面挙動に関する一考察

防衛大学校 ○（正）森 雅美 （正）佐藤 紘志

1. まえがき 著者ら¹⁾は、先に砂中埋設鋼管の高速载荷実験を行い、実測ひずみ応答に基づいて履歴吸収エネルギーを算定する弾塑性解析の基本式を定式化するとともに、履歴吸収エネルギーが限界に達するときを埋設鋼管の終局限界状態と定義する一方法を提案した。しかし、定義した終局限界状態と物理的な破壊機構との対応性が不明確のままであった。本報告は、埋設鋼管の断面挙動に基づき終局限界状態の物理的意味を検討したものである。すなわち、まず、先に定式化したひずみ速度依存性を導入した動的応力～ひずみ履歴関係に基づき、実測ひずみ応答から履歴を考慮した断面諸量を算定する弾塑性解析の基本式の定式化を行い、次いで、先の砂中埋設鋼管の高速载荷実験結果に基づき、終局限界状態と物理的な破壊機構との対応性を検討する。

2. 埋設鋼管の断面諸量 先の実験は平面ひずみ状態に近い条件下で行われている。このため、図-1に示す円筒シェルとしての鋼管部材の管軸方向のはり挙動は無視でき、円周方向のリング挙動が支配的な単位長のリング横断面の問題に帰着され、リング横断面の各点（管壁縦断面）で断面挙動が評価できる。鋼管内外面の実測ひずみに対して、図-2の動的応力～ひずみ履歴関係に基づく曲率および断面力（軸力と曲げモーメント）の断面諸量を算定する弾塑性解析の基本式の定式化の手順は以下になる。①単位長の縦断面の上下縁の実測ひずみに対して平面保持の法則を仮定し、ひずみ分布を求めるとともに曲率を算定する。②上下縁の実測ひずみに対応する動的応力を動的応力～ひずみ履歴関係より求める。③②で求められた動的応力が負荷の場合には、弾性、下縁降伏、上縁降伏および上下縁降伏の各ひずみ状態に対して引張領域、圧縮領域および中立軸領域から構成される応力分布を求める。除荷の場合には、過去の塑性履歴の最大点を表すAおよびBの基準点での弾塑性応力分布から除荷応力分布を差し引いた応力分布を求める。④③で求められた応力分布に基づき、断面力（軸力と曲げモーメント）を算定する。

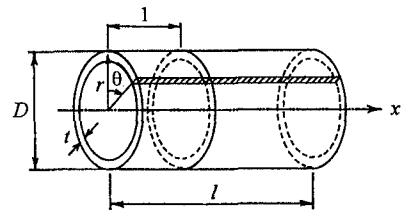


図-1 鋼管部材

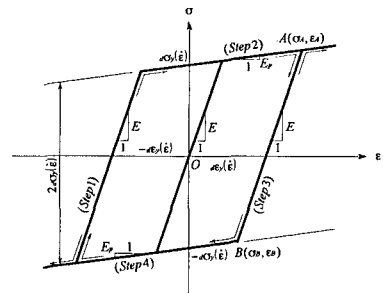


図-2 動的応力～ひずみ履歴関係

3. 解析結果と考察 ここでは一例として、土被り比 $H/D=2$ （ H :土被り高, D :外径）、径厚比 $D/t=57$ （ t :管厚）のMP（Medium Pipe）に関する高速载荷実験結果HMP224（载荷速度: $v=5.32$ m/sec）を取り挙げる。

図-3, 4と5はそれぞれ管右半部の断面（S1～S5, 管頂より45°間隔）の軸力 N を降伏軸力 N_y で無次元化した無次元化軸力 N/N_y 、曲げモーメント M を全塑性モーメント（純曲げ状態） M_p で無次元化した無次元化曲げモーメント M/M_p および履歴吸収エネルギー U を弾性限界ひずみエネルギー（純曲げ状態） U_e で無次元化した履歴吸収エネルギー比 U/U_e の時刻歴を示したものである。図中、実線および破線はそれぞれひずみ速度効果を考慮（Considered）した場合と無視（Neglected）した場合を示している。

図-3より、 N/N_y に及ぼすひずみ速度効果は管下半部（S4, S5）では殆ど認められず管上半部（S1, S2, S3）で顕著であり、特にS2では約51%の影響が認められる。 N/N_y は、管下半部では約0.3以下、管上半部ではS1で時刻 $t=16.2$ msec、S2で24.8 msec、S3で19.2 msec以降を除き約0.5以下になっている。このことから、16.2

キーワード：地中構造物、高速载荷、終局限界、ひずみ速度効果

連絡先：〒239 横須賀市走水1-10-20 TEL 0468-41-3810 FAX 0468-44-5913

msecまでは全断面（S1～S5）において軸力挙動はさほど顕著ではなく、概ね曲げ挙動が卓越しているといえる。

図-4より、 M/M_p に及ぼすひずみ速度効果は管上半部で顕著であり、特にS1では約36%の影響が認められる。以下、ひずみ速度効果を考慮（Considered）した場合について考察する。 M/M_p は、時刻 $t=13.6$ msecまではS1、S3およびS5とも急激に増加し、S3では1.20となり、ひずみ速度効果を考慮した場合の全塑性モーメントに達し、塑性ヒンジが形成された状態になったものと考えられる。13.6msec以降、S3では19.2msecまで弾性的に除荷するが、S5では15.6msec、S1では16.6msecでそれぞれ1.24および1.39の全塑性モーメントに達する。S1では16.6msec以降、-0.54まで急激に塑性的に除荷された後、弾性的に再負荷されて-0.16の一定値を保持するとともに N/N_y が概ね-1となり、断面挙動が全塑性モーメント状態から圧縮降伏状態に急変し、断面の曲げ抵抗が限界に達した状態と考えられる。S1で断面挙動が急変する17.2msec以降、S2では M/M_p は急激に増加し、24.8msecで1.37の全塑性モーメントに達した後、-0.50まで急激に減少し、 N/N_y が-1.52の圧縮降伏状態に断面挙動が急変する。S2の断面挙動が急変する24.8msec以降、S3では M/M_p はさらに増加し、27.2msecで1.13の全塑性モーメントに達した後、急激に減少している。

図-5より、履歴吸収エネルギー比 U/U_y の限界値で定義される終局限界は、管上半部では、S1で19.4msec、S2で25.4msec、S3で26.6msecでそれぞれ $U/U_y=40.57$ および14に順次達していることがわかる。S1とS2の終局限界はS1とS2の断面挙動が急変する時刻に、S3の終局限界は M/M_p が急激に減少する時刻に概ね対応している。このことから断面の終局限界は、断面の曲げ抵抗が限界に達して、断面挙動が曲げから軸力挙動に急変する時点であると結論づけられる。管下半部では、S4で24.8msec、S5で15.6msecでそれぞれ $U/U_y=4.6$ および9.6となるが、断面挙動に急変がなく、断面の曲げ抵抗にまだ余裕がある状態と考えられ、終局限界とは見なせないものと考えられる。

図-3より、無次元化軸力の時刻歴

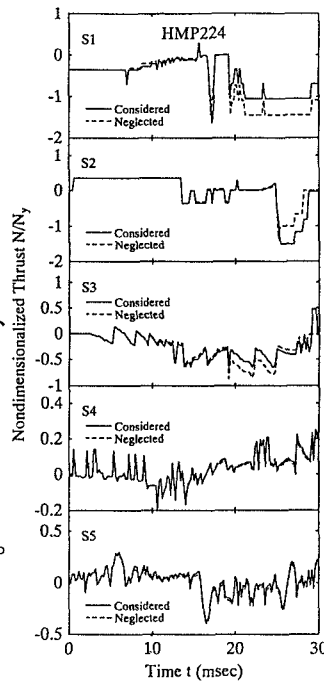


図-3 無次元化軸力の時刻歴

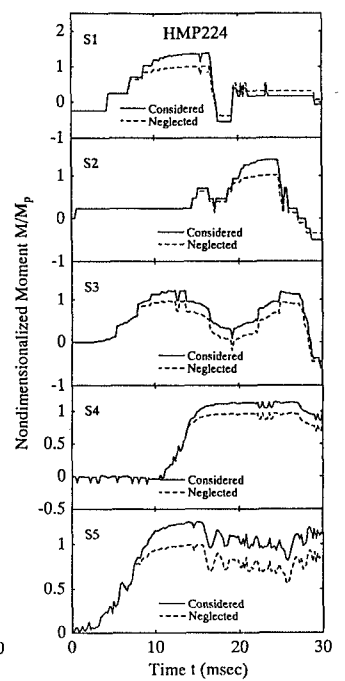


図-4 無次元化曲げモーメントの時刻歴

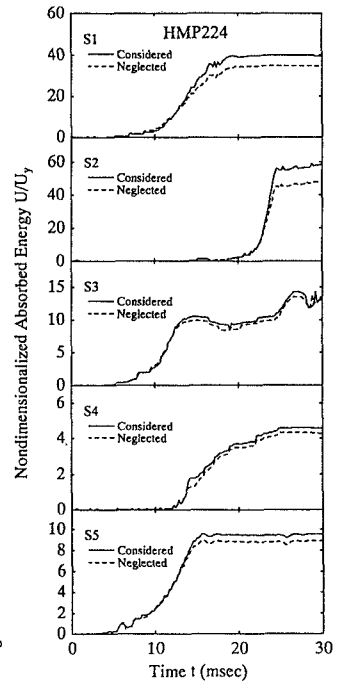


図-5 断面の履歴吸収エネルギー比の時刻歴

4. あとがき 本報告では、砂中埋設鋼管の断面諸量を算定する基本式の定式化を行うとともに、断面挙動に基づき終局限界状態の物理的意味を検討した。その結果、砂中埋設鋼管の断面の終局限界は、断面の曲げ抵抗が限界に達して、断面挙動が曲げから軸力挙動に急変する時点であることを示した。最後に、高速載荷実験には防衛大学校全学共同利用器材高速変形荷重装置を使用し、実験に際しては、元防衛大学校第40期本科学生長田雄一、馬場智也両君の協力を得たことを付記し、謝意を表する。

（参考文献）1) 森・佐藤：土木学会第50回年講，I-557，pp. 1114～1115，1995.9.