

中国における埋設管の耐震規定

神戸大学工学部 高田至郎

1.はじめに：中国では、1976年7月28日に発生した唐山地震 ($M=7.8$) でライフライン施設が多大の損害を被ったのを機に“室外給水排水和煤気熱カ工程抗震設計規範(1979)”が制定され、目下試行中である。天津市地震工程研究所・王承香氏、北京市市政設計院・沈顕杰氏と上記耐震規定について種々情報交換をする機会を得たので、埋設管耐震設計の基本的考え方を紹介するとともに、耐震規定の妥当性について検討した結果について述べる。

2.埋設管設計の規定条文：第三章第28条“地中埋設鑄鉄管路或はその他の継手管路の直線部分における継手構造とその配置においてはせん断波の作用により生じた軸方向の変形を考慮しなければならない。管路の軸方向の許容変形は次式の要求に合わなければならない。 $66 \leq K_n T_m < \sum (U_i) - ①$, $\xi = 2 / \{1 + EAD/2V_s\} - ②$, $[U_i]$: 使用内圧下における各種継手の軸方向引張変形, $n = V_s T_m / \lambda$ 見掛け半波長内の継手個数, E, A, D : パイプのヤング率、断面積、外径, V_s : せん断波速度, λ : 各パイプの長さ, T_m : 地盤の卓越周期”, 第29条“地中埋設鋼管と剛性継手をもつパイプ及び組積体式管路の直線部分においてせん断波の作用により生じた軸方向の応力は次式の要求に合わなければならない。 $94 E \leq K_n T_m / V_s < [R_i] - ③$, $[R_i]$: 管体或は管路継手材料の引張或は圧縮設計強度”, なお、式①、③中の K_n は水平設計震度で想定する地震の大きさに応じて 0.1~0.4 の値をとっている。

3.埋設管耐震設計式の考え方：式②の ξ は、地盤変位が管路に伝達される割合である。石軸パイプライン規定をはじめとする日本の耐震規定では、上記に相当するものを弾性床の上のほりの軸方向振動理論より定めている。しかし、上記よりは、Fig. 1 に示される管路被害統計をもとに経験的に定められたものである。

Fig. 2 を参考にして、パイプ変位 U_p は $A \sin \phi \sin 2\pi x / L'$, $L' = L / \cos \phi$ で与えられる。入力地震波の変位振幅 A は、 $A = K_n \cdot g \cdot T_m / 4\pi - ④$ で与えられている。すなわち、一定の加速度入力を与えて、地盤周期に応じた変位振幅を算出する手法をとっている。日本の耐震規定の地盤の速度スペクトルを入力基準としているのと対照的である。半波長内における管路

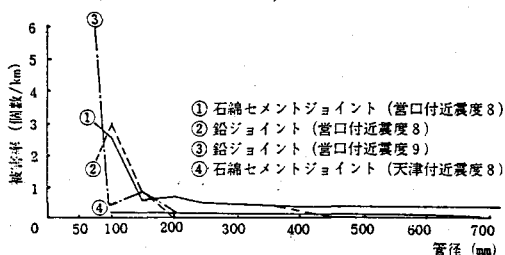


Fig. 1 鑄鉄管の被害率と管径せん断波の入射方向

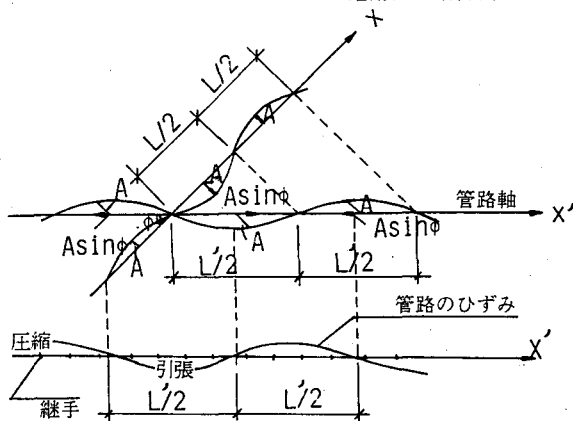


Fig. 2 管路と地震波の入射

Shirō T A K A D A

の最大変形 $[\Delta L]^{1/2}$ は、引張・圧縮を考慮して U_p の2倍となるが、2乗平均で与えるものとするれば $[\Delta L]^{1/2} = \sqrt{2} \times A - ⑤$ となる。一方、継手は許容伸縮量で十分機能を發揮するとは考えられないので、その効率を0.64とすると、 $[\Delta L]^{1/2} = 0.64 \sum [U] - ⑥$ となる。式④、⑤、⑥を組み合わせて2.2の安全率を見込むと第28条の規定にある式⑦が得られる。一方、

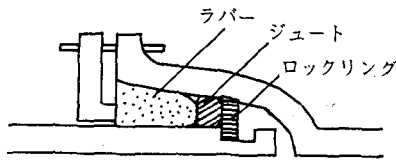


Fig. 3 GM継手の形状

一体連続管路下は、継手変位の総和が L の波長内に生じたと仮定して、相当ひずみを算定し、管体ヤング率を乗じると発生応力が推定できる。この応力よりも高い強度を有することが安全性照査の条件となり、式③を得る。式①、③はいずれも継手伸縮、管体軸力についての式で曲げ運動に伴う軸力をも考慮している日本の耐震規定とは異なる。

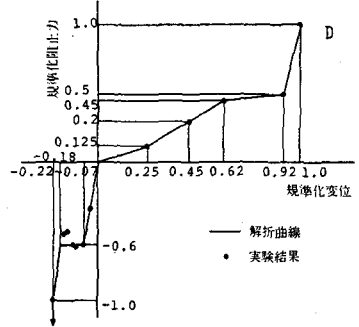


Fig. 4 GM継手の伸縮特性

4. 地震応答シミュレーションによる耐震設計式の検証: Figs. 3, 4に示す継手形状および伸縮特性をもつ鑄鉄管路のモデル (Fig. 6) に、設計震度9度 ($k_w=0.4$) に相当する変位を与えて継手変位応答をシミュレートし、耐震規定との比較を行った。地盤はねはFig. 5に示す通りである。

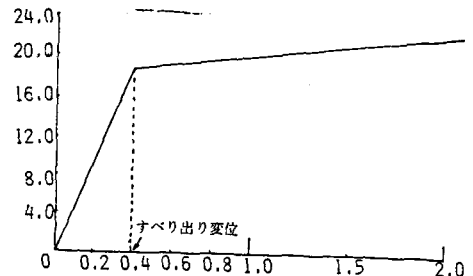


Fig. 5 地盤の摩擦係数 (GM継手)

Fig. 7(b)に各継手変位量を示している。最大継手変位1.25cmで総和は15.74cmである。したがって継手一本の平均伸び量は0.75cmとなる。一方、耐震規定の δ は0.4、 66.3 kN/Tm は1056cmとなる。シミュレーション結果より過剰に継手変位総和を推定していることにはなる。第28条によれば、本継手の場合には $[U]_i = 1.0 \text{ cm}$ をとってよいと考えられるので、 $\sum [U]_i = 21.0 \text{ cm}$ となり、シミュレーション・規定とも耐震安全性の条件を満足している結果となる。非常に大胆な仮定によって誘導された式①による継手変位総和が、シミュレーション結果と大差ない事は驚きである。

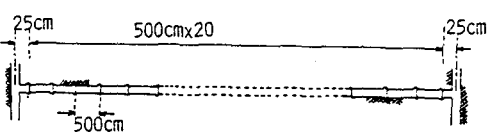


Fig. 6 地震シミュレーションモデル

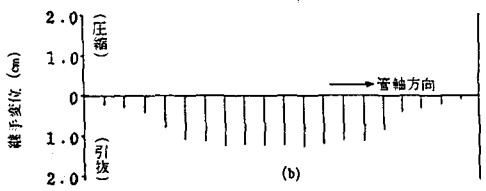
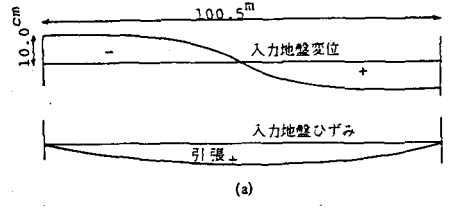


Fig. 7 管路継手変位応答結果