

局部変形を考慮した鋼管固定はりの終局限界 に関する一考察

防衛大学校 ○星川 辰雄

同上 石川 信隆

(財)砂防・地すべり技術センター 阿部 宗平

京都大学 水山 高久

1. 緒言 現在建造されている透過型鋼製砂防構造物の中には、B型スリットダムや格子型砂防ダムのように、その部材に中空鋼管が用いられている¹⁾。これらの砂防ダムに土石流中の巨礫が衝突した場合は、部材に局部変形が発生するとともに、部材全体あるいは構造全体の変形が生じるものと思われる。さて現行設計法において、局部変形の算定に Ellinas の式²⁾を用いているが、これは海洋鋼管構造物に適用した式であり、砂防鋼管構造物に果たして適用可能か否か問題であり、従来川井ら³⁾がその検討を試みているにすぎない。

本研究は、局部変形について再検討するために、中空鋼管固定はりを対象として、静的および高速載荷実験を行い、まず (1) 鋼管固定はりの荷重～局部変形関係に与える要因として、(a) 載荷速度 (静的と高速の違い)、(b) 鋼管径、(c) 肉厚、(d) スパン長、(e) 載荷体形状、(f) 載荷位置等の影響を調べるとともに、(2) 従来局部吸収エネルギーの算定に用いられている Ellinas²⁾の式を修正し、新たな係数 K と β 値を実験データを用いて決定した。最後に、(3) 鋼管固定はりと片持はりの終局限界 (塑性回転容量) を比較検討した。

2. 荷重～局部変形に与える要因分析 実験は、静的載荷と高速載荷の2種類行い、供試体は図-1に示すように両端を固定用治具で挟み込むようにして、ボルト締めして固定した。実験ケースは、静的と高速載荷の違い、鋼管径、肉厚、載荷体形状および載荷位置を変化させて、合計44ケース行った。

2.1 載荷速度 (静的と高速) の影響 図-2は、静的と高速載荷の相違を調べるために、一例として鋼管径 D 139.8、肉厚 t 3.5、載荷体直径 D_c 22cm、スパン長 L 60cm の場合の荷重～局部変形関係を示したもので、高速載荷の場合は、ひずみ速度効果の影響により静的の場合に比べより大きな荷重を示していることが認められる。したがって、局部変形に与えるひずみ速度効果の影響、つまり見掛けの降伏応力 σ_y の上昇を考慮すべきと思われる。

2.2 鋼管径による影響 図-3は、肉厚 t 3.5mm、スパン長 L 60cm、載荷体直径 D_c 22cm、載荷位置中央と一定として、鋼管径 D をパラメータとした静的載荷の場合の荷重～局部変形関係を示したもので、鋼管径が大きいほど小さい荷重で大きな局部変形が発生していることが分かる。これより鋼管径による影響は極めて顕著である。

2.3 肉厚による影響 図-4は、鋼管径 D 114.3mm、スパン長 L 60cm、載荷体直径 D_c 22cm、載荷位置中央と一定にして、肉厚 t をパラメータとした静的載荷の場合

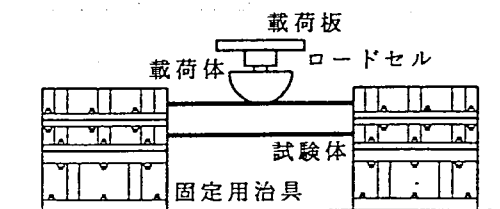


図-1 実験装置

の荷重～局部変形関係を示したものである。肉厚 t が大きくなると、当然耐力が増大し、局部変形も小さくなることが分かり、これより肉厚 t の影響が極めて大きいことが確認される。

2.4 スパン長による影響 図-5は、鋼管径 D 139.8mm, 肉厚 t 3.5mm, 載荷体直径 D_0 22cm, 載荷位置中央と一定にして、スパン長 L をパラメータとした静的載荷の場合の荷重～局部変形関係を示したものである。これより、 L 40cm の場合は固定端の拘束の影響を受けるため他の L 60cm, L 80cm とやや異なるが、通常用いられているスパン長の範囲では、あまり影響がないものと思われる。

2.5 載荷体形状による影響 図-6は、鋼管径 D 114.3mm, 肉厚 t 3.5mm, スパン長 L 60cm, 載荷位置中央と一定にして、載荷体直径 D_0 をパラメータとした静的載荷の場合の荷重～局部変形関係を示したもので、今回の実験では載荷体直径による影響がやや認められる。

2.6 載荷位置による影響 図-7は、鋼管径 D 114.3mm, 肉厚 t 3.5mm, スパン長 L 60cm,

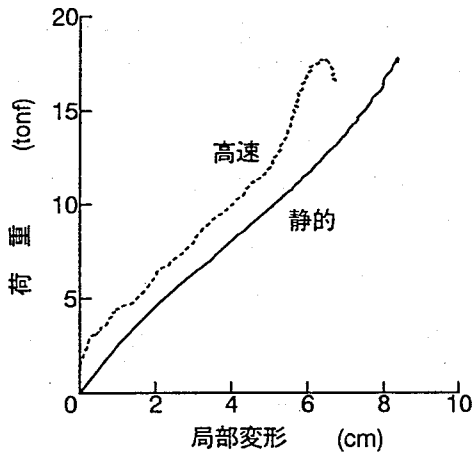


図-2 荷重～局部変形関係
載荷速度の影響
D 139.8 t 3.5 D_0 22
L 60 中央点載荷

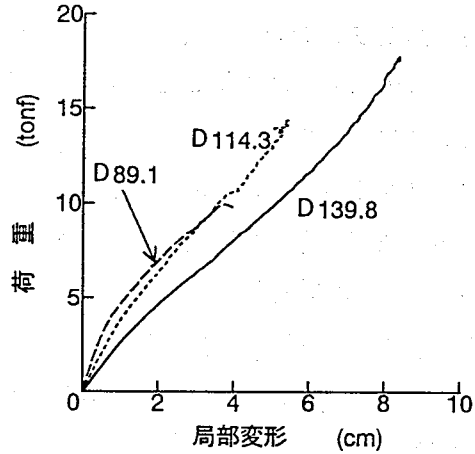


図-3 荷重～局部変形関係
鋼管径による影響
静的 D 139.8 t 3.5
 D_0 22 L 60 中央点載荷

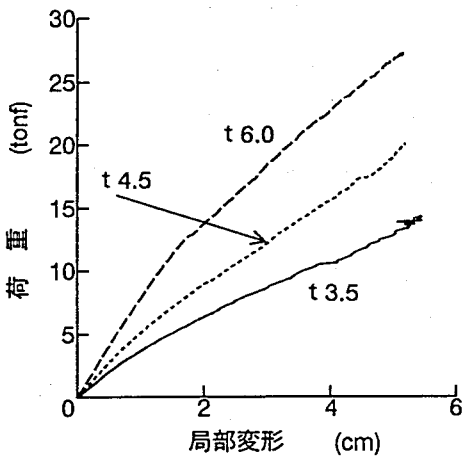


図-4 荷重～局部変形関係
肉厚による影響
静的 D 114.3 D_0 22
L 60 中央点載荷

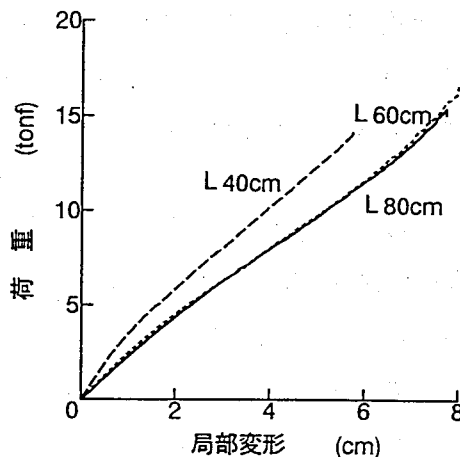


図-5 荷重～局部変形関係
鋼管径による影響
静的 D 139.8 t 3.5
 D_0 22 L 60 中央点載荷

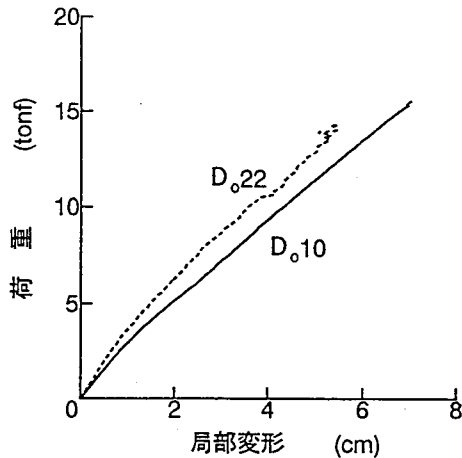


図-6 荷重～局部変形関係
 (载荷耐形状による影響)
 静的 D114.3 t 3.5
 L 60 中央点载荷

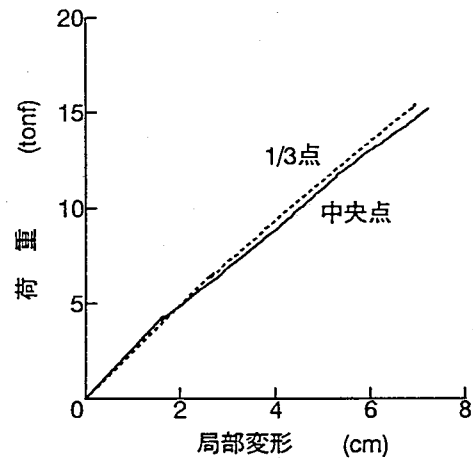


図-7 荷重～局部変形関係
 (载荷位置による影響)
 静的 D114.3 t 3.5
 D_0.10 静的

载荷体直径 D_0 10cm と一定にして、载荷位置を中央と 1/3 点に変化させた場合である。これより、载荷位置が局部変形に与える影響はほとんどないことが認められた。

以上より、鋼管径 D と肉厚 t と降伏応力 σ_y が最も大きな影響を与える要因であり、他のパラメータは、载荷体直径を除きあまり影響がないことが認められた。

3. 荷重～局部変形関係の推定式 現行設計法では、荷重～局部変形の推定式として、Ellinas ら²⁾によって提案された次式が用いられている。

$$P = \frac{1}{4} K \sigma_y t^2 \left(\frac{\delta_d}{D} \right)^{0.5} \quad (1)$$

ただし、 P : 荷重, K , β : 実験定数, σ_y : 鋼管の降伏応力, t : 鋼管肉厚, D : 鋼管径, δ_y : 局部変形量。

ここで、式(1)は D , t , σ_y 以外の全てのパラメータの影響を K 値という1つの定数に含ませているが、本実験結果を K 値のみでシミュレートすることはできなかった。そこで、ここでは次式のように K と β という2つの係数に含ませることとした。

$$P = \frac{1}{4} K \sigma_y t^2 \left(\frac{\delta_d}{D} \right)^\beta \quad (2)$$

すなわち、 K 値および β 値を今回の実験データを用いて最小自乗法により決定すると、静的では、 $K = 160 \sim 188$, $\beta = 0.85$, 高速では $K = 136 \sim 180$, $\beta = 0.75$ となった。

4. 鋼管固定はりの終局限界 写真-1は、高速载荷の場合の $D = 114.3$, $t = 3.5$, $L = 80\text{cm}$, $D_0 = 10\text{cm}$, 载荷位置中央の場合の破壊モードを示したもので、鋼管固定はりの終局限界状態としては、固定端付近はり下部の局部座屈発生時と思われ、これが図-8の荷重～全体変位関係の最大荷重時と対応しているものと考えられる。よって、これより最大荷重時を終局限界と定義し、このときの変位を δ_u として、これより弾性限界変位 δ_e を差し引き、半スパン長で割ると次式のような塑性回転容量が求められる。

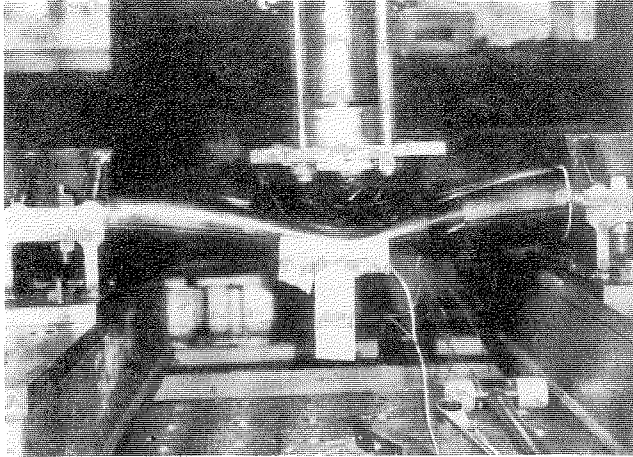


写真-1 破壊形態

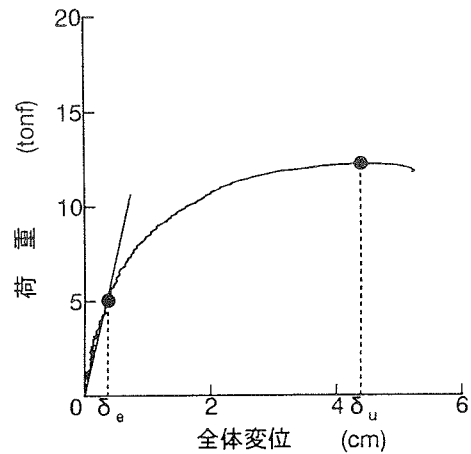


図-8 荷重～全体変位関係
 〔 荷重位置による影響 〕
 〔 高速 D114.3 t3.5 〕
 〔 D.10 L80 中央点荷重 〕

$$\theta_P = \frac{\delta_u - \delta_e}{L/2} \quad (3)$$

表-1 塑性回転角

本実験ケースにおいては、終局限界状態まで達したのは2ケースのみであったが、これを式(3)を用いて実験データを整理すると表-1のようになり、この値を片持は

鋼管径 (mm)	肉厚 (mm)	スパン長 (cm)	荷重体 (cm)	荷重方法	塑性回転角 (rad)	
					固定はり	片持はり
89.1	3.5	60	22	静的	0.130	0.096
				高速	0.133	
114.3	3.5	80	10	静的	0.110	0.061
				高速	0.100	

りの塑性回転容量 θ_{PC} と比較すると、 θ_{PC} の方が小さい。よって、鋼管はり部材の終局限界としては、鋼管固定はりの終局限界ではなく、片持はりの終局限界つまり片持はりの塑性回転容量 θ_{PC} を終局限界として採用して差し支えないものと考えられる。

5. 結論

(1) 荷重～局部変形関係に影響を及ぼす要因として、鋼管径と肉厚および降伏応力が最も大きく、荷重位置およびスパン長の影響はほとんどないことが認められた。

(2) 従来の Ellinas の式を修正し、 K と β の2つの実験定数を含む式として再提案し、実験データを用いてこれらを決定した。

(3) 鋼管固定はりの塑性回転容量は、片持はりの塑性回転容量より大きいので、部材レベルの終局限界としては、安全側をとり片持はりの塑性回転容量を採用して差し支えないものと思われる。

謝辞 本実験の実施に当たり、防衛大学校事務官 柿原 誠氏の協力を得たことを付記し、謝意を表す。

参考文献 1) (財) 砂防・地すべり技術センター：鋼製砂防構造物設計便覧，平成5年版 2) Charles P. Ellinas and Alastair C. Walker：Damage on Tubular Bracing Member, IABSE, Colloquium Copenhagen, Vol. 42, 1983 3) 川井豊，石渡正夫，山野井節雄：鋼管部材の耐力実験，落石等による衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集，pp.9～14，1991年