

鋼管片持はりの塑性回転容量について

防衛大学校 ○石川 信隆

同上 星川 辰雄

(財)砂防・地すべり技術センター 阿部 宗平

新日本製鐵(株) 溝口 郁夫

1. 緒言 近年、土石流対策砂防施設として、A型スリットダムおよびB型スリットダムや格子型構造等のように部材に鋼管を用いた鋼製砂防ダムが数多く建設されている¹⁾。この鋼製砂防ダムの設計規準は、A型およびB型の場合、構造系の許容最大変形量をフレーム高さの2%、また格子型の場合、局部変形を除いたはり変形が弾性限界の20倍以下になるように定めている。

本研究は、透過型鋼製砂防構造物の統一的设计基準を定めることを目的としたもので、鋼構造限界状態設計規準(案)²⁾に準拠して、鋼管部材の終局限界状態を定性的および定量的に定めようとするものである。一般に、土石流中の巨礫を受ける鋼管構造物の変形は、局部変形と部材または構造物全体の変形とに分けられるが、ここでは、局部変形を取り除いた部材全体の変形の限界値、つまり塑性回転容量を径厚比 D/t に応じて静的および高速載荷実験により求めようとするものである。

2. 実験の概要

2.1 静的載荷実験 実験に用いた装置は、200tf型アムスラーによって、図-1に示すように載荷板下面にロードセルおよび載荷治具を取り付けて載荷した。載荷治具は、直径5cmの円柱状のものである。試験体の構造は、最も終局限界を測定し易い片持はりであり、図-1に示す固定用治具によって固定部をボルト締めして固定した。測定項目は、載荷点荷重、変位およびひずみで、荷重は載荷板下面に取り付けたロードセルにより、また変位はひずみゲージ式変位計を用いて測定した。ひずみは、固定端から1cmおよび10cm離れた点の上面および下面にひずみゲージを貼付して測定した。

2.2 高速載荷実験 実験は、図-2に示す4m/secの一定の載荷速度で試験体を変形させる高速変形負荷装置を用いて行った。試験体は静的載荷実験と同じ固定用治具に挟み込み、これを取付台および土台にボルト締めして固定した。測定項目は、載荷点荷重、変位およびひずみで、荷重は加圧ビーム下面に取り付けられたロードセルにより、また変位は加圧ビームにターゲットを取り付け、これを光

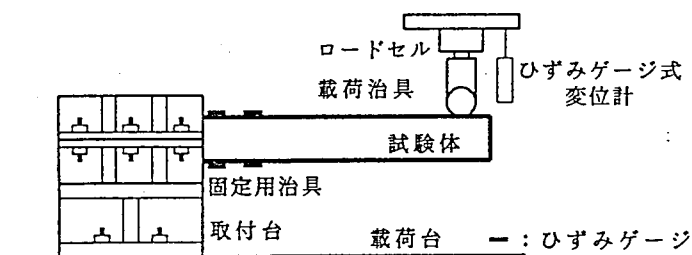


図-1 静的載荷実験装置

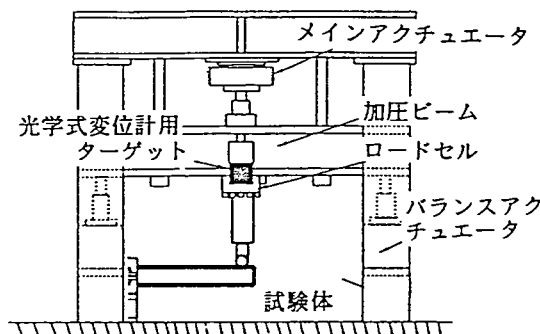


図-2 高速載荷実験装置

表-1 実験ケース

鋼管径 (mm)	89.1	114.3	114.3	114.3	139.8	合計
肉厚 (mm)	3.5	3.5	4.5	6.0	3.5	
径厚比	25.5	32.7	25.4	19.1	39.9	
静的	40cm	1	1	1	1	5
	60cm	1	1	1	1	5
高速	40cm	2	2	2	2	10
	60cm	2	2	2	2	10
合計試験体数	6	6	6	6	6	30

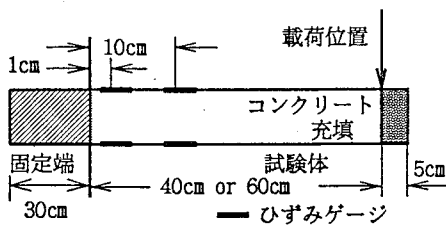


図-3 試験体

学式変位計を用いて測定した。また、ひずみは静的荷重実験と同じ位置にひずみゲージを貼付して測定した。

2.3 試験体 本実験に用いた試験体は、一般構造用炭素鋼管 STK400 で、図-3 に示すように、各鋼管の 30cm を固定用治具内に挟み込み、また先端から 5cm の部分に局部めり込みの発生を防止するためコンクリートを充填し、荷重は先端から 5cm の部分に行うようにした。試験体の種類は、表-1 に示すような 5 種類の鋼管に対して実験を行った。

2.4 実験ケース 本実験においては、表-1 に示すような鋼管径および肉厚の異なる 5 種類の鋼管に対し、スパン長が 40cm および 60cm の場合について、静的および高速荷重実験を各 10 ケースずつ行った。なお、高速荷重実験においては、実験データにばらつきが生じることが予想されるため、各ケースとも 2 回ずつ実験を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 荷重～変位関係 図-4 に、静的荷重実験および高速荷重実験から得られた荷重～変位関係の一例を示す。図より、高速荷重の場合は、ひずみ速度効果等の影響により、荷重が大きくなっていることが認められる。また、静的荷重の場合は、最大荷重に達した以降荷重は緩やかに減少しているのに対し、高速荷重の場合は比較的急に荷重が低下していることが認められる。この荷重が低下する主な原因は、局部座屈の影響によるものと考えられるが³⁾、荷重速度が速い場合は、変形が一瞬に進行し、その影響が顕著である。

3.2 破壊形態 写真-1 (a) および (b) は、それぞれ荷重が低下しはじめる点および荷重が 90% まで低下した時点の変形状態を示したものである。これらはそれぞれ図-4 の○および△点に相当する。また、図-5 (a) および (b) は、写真-1 (a), (b) の状態をそれぞれ模式的に示したものである。これより、写真-1 (a) および図-5 (a) の状態は、局部座屈の発生はみられるが、まだ固定端での鋼管の偏平化は進展していない。これに対し、写真-1 (b) および図-5 (b) の状態は、局部座屈がさらに進展しているとともに、固定端においてかなりの偏平化が進展している。すなわち、この状態においては部材は既にかなり不安定な領域に入っており、構造物の終局限界と定義するには、問題があると考えられる。さて、既往の研究³⁾においては、局部座屈の波長がある一定値に達した以降に荷重が低

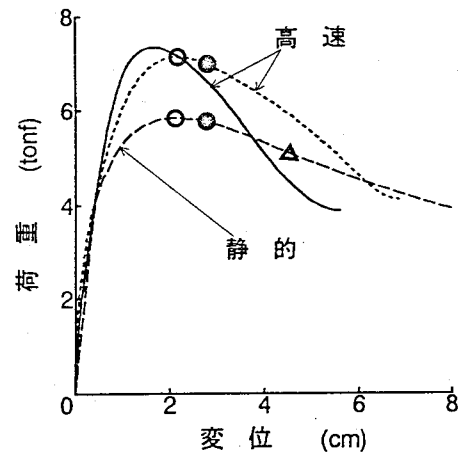
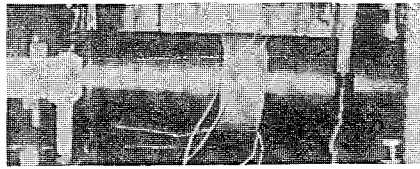
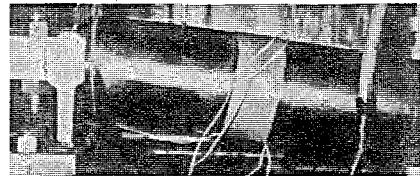


図-4 荷重～変位関係 (D 139.8 t 3.5 L 40cm)

下するが、この点が最大荷重点に相当するものと報告されている。図-6に、静的および高速載荷実験における荷重～ひずみ関係を示すが、図より明らかなように最大荷重点付近においてひずみの増加の傾向が変化する点の存在が認められ、この点において座屈は完全に発生したものと考えられる。しかし、この点は図-4の●印点に相当して

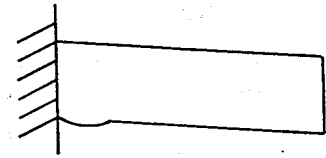


(a) 荷重低下開始時

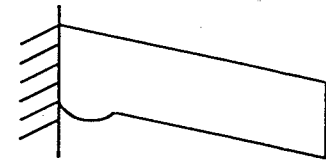


(b) 荷重低下後

写真-1 破壊形態



(a) 荷重低下開始時



(b) 荷重低下後

図-5 破壊モード

おり、最大荷重点(○印点)とは必ずしも一致していない。そこで、ここでは終局限界を最大荷重点およびひずみの増分が変化する点として定義して、両者により以下に述べる塑性回転容量を算定した。

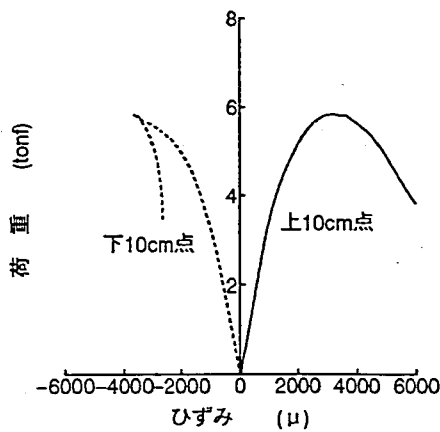
3.3 塑性回転容量 図-4の荷重～変位関係において、最大荷重時およびひずみの増分が変化する時の変位に着目して、次式により塑性回転容量を算定した。

$$\theta_P = \delta_P / L \quad (1)$$

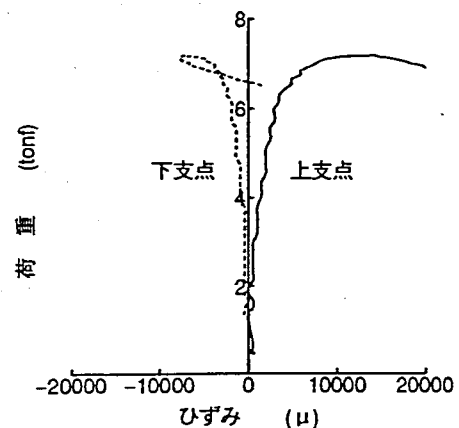
ただし、 θ_P ：塑性回転容量、 δ_P ：塑性変位量(= $\delta_u - \delta_e$ 、 δ_u ：終局変位、 δ_e ：弾性変位)、 L ：スパン長。ここで、弾性変位は、弾性範囲の直線と曲線が分岐する点の変位を算定した。

図-7(a)、(b)は、静的載荷実験から得られた塑性回転角～径厚比関係をそれぞれ $L = 40\text{cm}$ および $L = 60\text{cm}$ の場合について、図-8(a)、(b)は高速載荷実験から得られたものをそれぞれ示す。図中に、越智ら³⁾の研究から得られた結果についても併せて図示する。図より、径厚比の増加にともない、塑性回転角は静的および高速載荷実験とも減少していることが認められる。また、図-8の高速載荷の場合は、図-7の静的載荷の場合より塑性回転角は小さくなることが認められる。

また図-7より、越智ら³⁾の研究結果は、静的載荷実験結果については特にひずみ変曲点に対し、そ

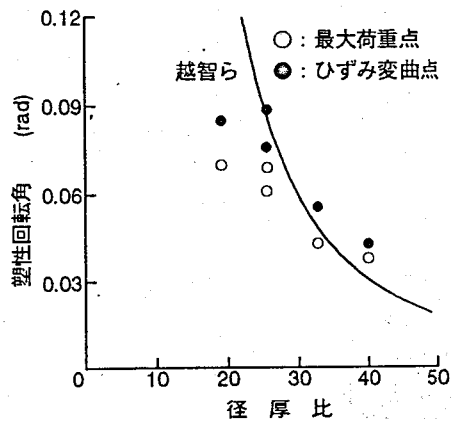


(a) 静的載荷実験

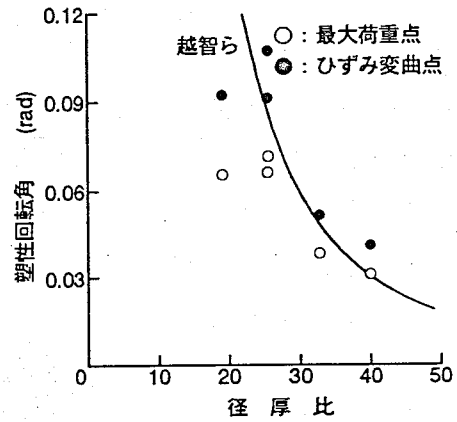


(b) 高速載荷実験

図-6 荷重～ひずみ関係 (D 139.8 t 3.5 L 40cm)

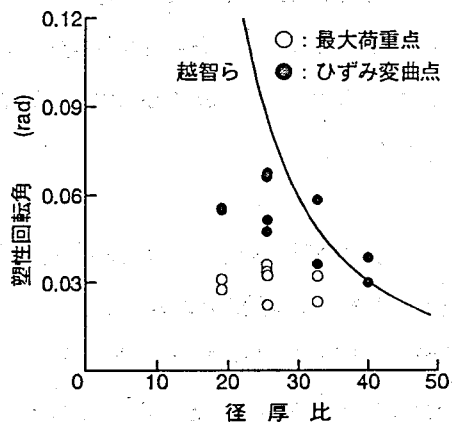


(a) スパン長 40cm

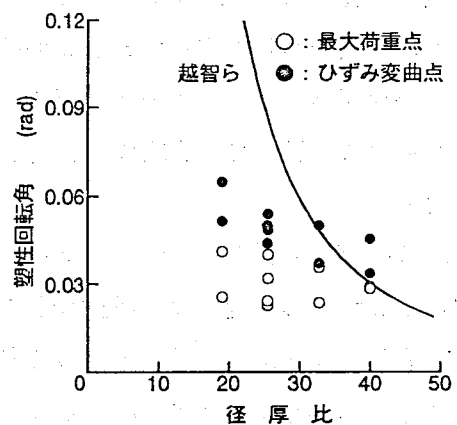


(b) スパン長 60cm

図-7 塑性回転角～径厚比関係 (静的載荷実験)



(a) スパン長 40cm



(b) スパン長 60cm

図-8 塑性回転角～径厚比関係 (高速載荷実験)

の傾向を比較的良くシミュレートしていることが認められるが、図-8より高速載荷実験の場合は、かなり大きな値を示すことが認められる。すなわち、高速載荷を受ける場合は、越智らの方法を用いて塑性回転角を算定すると、過大評価となり危険側になる。よって、高速載荷を受ける場合の塑性回転容量の評価式については別途検討する必要があると考えられる。

4. 結論 本研究から得られた成果を要約すると、以下の通りである。

- (1) 鋼管はり部材の破壊モード(終局限界)は、局部座屈発生時すなわち荷重が明らかに低下しはじめる点に相当していることが認められ、これより塑性回転容量を定義することができた。
- (2) 塑性回転容量は、径厚比の増大に伴い減少することが確認された。
- (3) 越智ら³⁾の式は、静的の場合は実験値と良く一致するが、高速の場合は過大評価することが認められた。

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) 日本建築学会：鋼構造限界状態設計規準(案)・同解説，1990年 3) 越智健之，黒羽啓明：冷間成形円形鋼管部材の耐力と変形能の統計的評価，日本建築学会構造系論文報告集，第391号，pp.59～71，昭和63年9月