

鋼棒を用いた変位制限構造の応答に関する解析的検討

国土技術政策総合研究所 熊本地震復旧対策研究室 正会員 ○澤田 守
 国土技術政策総合研究所 熊本地震復旧対策研究室 正会員 星隈 順一
 国立研究開発研究法人 土木研究所 CAESAR 正会員 玉越 隆史

1. はじめに

平成 28 年熊本地震では、耐震補強の目的で設置されていた上部構造の水平変位を制限するために突出鋼棒を片持ち梁形式でピンのように機能させる構造の部材で損傷が見られた¹⁾。道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋・鋼部材編（以下、「道示」と言う。）²⁾に規定されるピン構造の設計では、ピンには応力的に支配的な影響を及ぼすような曲げ応力が発生しないことが、許容値や設計に用いる解析モデルの前提となっていると考えられる。

一方、実際の構造物ではピン径や遊間の設定にもよってもその程度は異なるものの曲げ応力が完全にはゼロとはならない構造とならざるを得ないことも多い。

本稿では、片持ち形式の突出鋼丸棒部材の上下の拘束条件と主にせん断スパン比をパラメータとして、FEM 解析により、道示のピン構造の設計の前提との乖離が生じる要因とその程度について検討を行った。

2. 道路橋の設計基準におけるピン接合設計の概要

道示では、「9.1 ピンによる連結」において、ピンによる連結では主にせん断と支圧により力を伝達する構造であることに加えて、曲げについては、図-1 に示すように両端固定条件で支持幅が比較的大きく、実際の応力度が支間を 1 として計算したものより小さいことが確実に見込まれる必要があることが規定されており、制限値もこれを前提に通常の曲げ部材とは異なる値が、曲げ応力、せん断応力それぞれに対して規定されている。

一方、変位制限構造として片持ち形式の突出鋼棒を自由に回転変位可能なピンのように用いる場合、鋼棒上下端の拘束条件が十分な支持幅の両端固定とは異なってくることで、固定部と載荷部の遊間が大きくなりやすく、鋼棒に大きな曲げ応力が発生する状態となる可能性がある構造となることが想定される。

3. 解析モデルと解析ケース

解析モデルを図-2 に示す。ソリッド要素で片持ち構造と両端拘束構造の 2 種類をモデル化した。鋼棒の材料定数は S45CN 材を想定し、弾性係数 $E: 206000(\text{N}/\text{mm}^2)$ 、降伏応力 $\sigma_y: 345(\text{N}/\text{mm}^2)$ 、降伏後の加工硬化係数 $E': E/100$ を用いた。上下端の拘束条件の相違、軸径、載荷位置（せん断スパン：図-2 に示す荷重①から荷重③の 3 種）によって鋼棒への曲げ応力とせん断応力の発生状況を変化させることとした。表-1 に解析ケースを示す。

3. 解析結果

図-3 に鋼棒の軸直径 75mm の荷重-変位曲線を示す。片持ち構造では小さな荷重領域から両端固定構造に比べ、水平変位は大きく曲げの影響が大きいことがわかる。また変位急増点（図中矢印）はケースによらず概ね一致している。

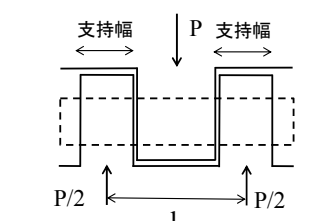


図-1 ピンの構造モデル

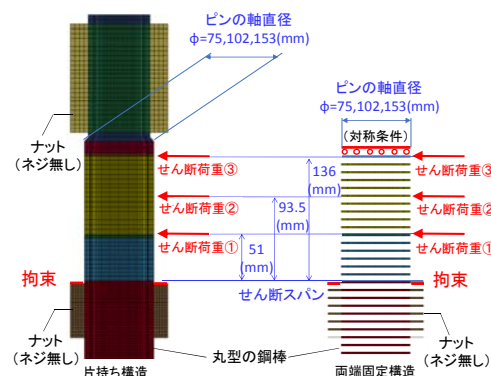


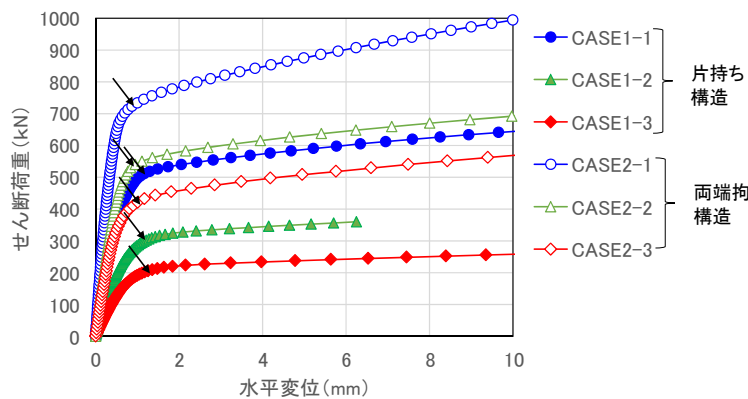
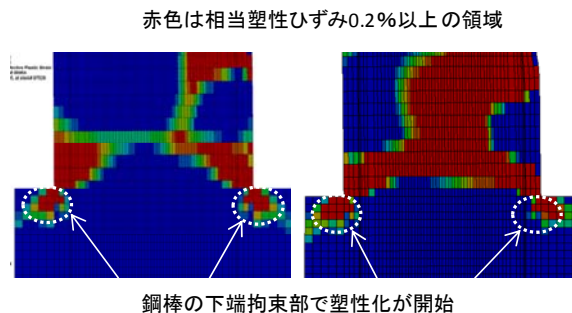
図-2 解析モデル

表-1 解析ケース

ケース	モデル	軸直径 (mm)	せん断スパン (mm)	せん断 スパン比
CASE1-1	片持ち 構造	75	51	0.68
CASE1-2			93.5	1.25
CASE1-3			136	1.81
CASE1-4		102	51	0.50
CASE1-5		153	51	0.33
CASE2-1	両端固定 構造	75	51	0.68
CASE2-2			93.5	1.25
CASE2-3			136	1.81
CASE2-4		102	51	0.50
CASE2-5		153	51	0.33

キーワード ピン接合, FEM 解析, せん断スパン比, 耐震補強

連絡先 〒869-1404 熊本県阿蘇郡南阿蘇村大字河陽 3574 熊本地震復旧対策研究室 TEL0967-67-2039

図-3 荷重-変位関係 ($\phi = 75\text{mm}$)

(a) CASE1-1 (荷重 511kN 時) (b) CASE2-1 (荷重 734kN 時)

図-4 相当塑性ひずみ分布 (変位急増時)

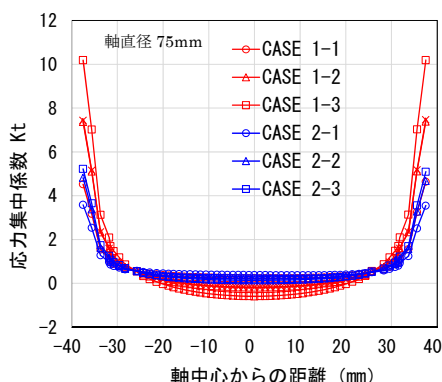


図-5 せん断力の応力集中係数の分布

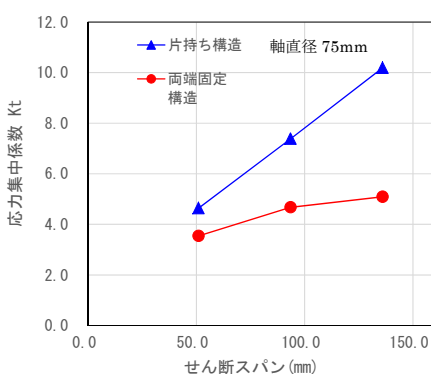


図-6 端部のせん断力の応力集中係数とせん断スパンの関係

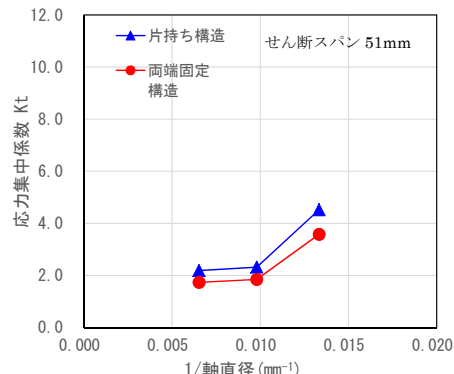


図-7 端部のせん断力の応力集中係数と軸直径の関係

図-4 に変位急増時の CASE1-1, 2-1 の相当塑性ひずみ分布の例を示すが、鋼棒の下端拘束部との境界付近での断面の一部塑性化時点に対応しており、これは CASE1-1, 2-1 以外も同様であった。このことから、本検討のパラメータの範囲では、鋼棒の下端拘束部で断面の一部塑性化によってピンとして安定した抵抗の期待できる限界となると考えられる。ここではこの状態を「せん断降伏耐力時」と定義する。

図-5 に軸直径 75mm におけるせん断力の応力集中係数の分布を示す。端部で応力集中係数が卓越しておりその大小はケースにより異なっている。次に、端部の応力集中係数に着目し、影響を及ぼす条件を検討する。図-6 に軸直径 75mm の同一条件におけるせん断力の応力集中係数とせん断スパンの関係を示す。せん断スパンが大きくなるほど応力集中係数は大きく、片持ち構造と両端固定構造で比較すると片持ち構造の応力集中係数が大きくなっている。図-7 にせん断スパン 51mm での同一条件におけるせん断力の応力集中係数と軸直径の関係を示す。軸直径が大きくなるほど、応力集中係数は小さくなっており、片持ち構造と両端固定構造で比較すると片持ち構造の応力集中係数が大きい傾向となっている。

4. まとめ

限られた条件下での FEM 解析による試算結果ではあるが、鋼棒端部の応力集中に対し、せん断スパン、軸径が影響を及ぼし、さらに片持ち構造では両端固定構造よりも曲げが生じ、応力集中が大きくなることが確認できた。今後は、これらの影響を定量的に把握しピンとして設計する際の適用条件の検討を進める予定である。

謝辞：本研究の実施にあたっては、国土交通省九州地方整備局熊本復興事務所及び熊本地震道路復旧検討 PT の皆様に多大なるご協力を頂いた。ここに深謝の意を表する。

参考文献

- 1) 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震土木施設被害調査報告：国土技術政策総合研究所・土木研究所，国総研資料 No. 967/土研資料 No. 4359，2017 年 3 月。
- 2) 道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋・鋼部材編：公益社団法人日本道路協会，2017 年 11 月。