

摩擦滑りヒンジを利用した鋼製橋脚の耐震設計

関東学院大学工学部 教授 フェロー倉西 茂

1. まえがき

発生頻度の低い大地震に対しては、道路橋の示方書では材料の塑性変形によって、地震により励起されたエネルギーを吸収する設計が認められている。これに対応して、鋼製橋脚においては圧縮塑性変形を保証するために、小さな幅厚比の板の採用や、コンクリートの中詰め等を行い、地震時保有水平耐力法による設計が行われている。しかし鋼製橋脚に高力ボルト摩擦接合部があれば、その部分によるエネルギーの吸収が期待でき、材料の塑性変形と同じように地震時保有水平耐力法による設計が可能となる。図1に示した鋼製橋脚は先の阪神大震災のおり摩擦継手に生じた滑りであり、これにより地震によるエネルギーを吸収が行われたものと思われる。

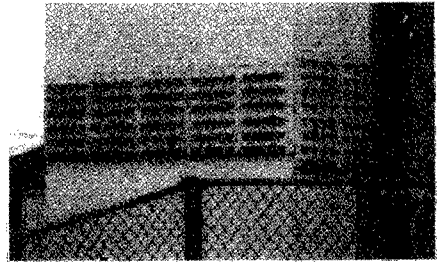


図1 阪神大震災で生じた高力摩擦継手の滑り

高力ボルト摩擦接合では、継手に働く力がその摩擦力より大きくなれば滑りが生じる。その滑りはボルト軸がボルト孔に接するまで続き、接した後はボルト軸は支圧状態となりボルトは最後には破断する。この関係は軟鋼の応力ひずみ関係と似たものとなっている。図2はこの関係を模式的に描いたものである。このような摩擦滑りは塑性変形と異なり、材料の質の変化は生じず、しかも、地震後の残留変形の復旧も容易である。そこで、高力ボルト摩擦接合部を設け、これにより、上部構造に生じる地震による慣性力を遮断する、あるいはエネルギーを吸収を期待する耐震設計法を提案する。

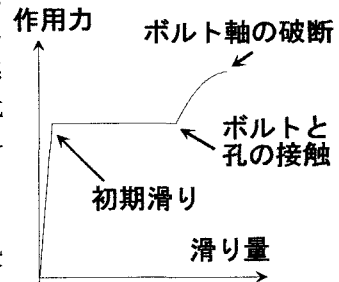


図2 高力ボルト摩擦継手に作用するせん断力と滑りの関係

2. 設計法

図3に示したように、まず発生確率の低い大地震による慣性力によって材料が降伏点を超える前に、摩擦継手に滑りが起きるようにボルト数と締め付け力等を定める。次に震度法で考慮している慣性力によっては高力ボルト摩擦継手には滑りが生ぜず、通常の継手と同じよう機能を持っていることを確認する。すると、震度法で考慮しているような地震に対しては基本的には橋脚は弾性的に挙動する。タイプ I、II の地震に対して継手の滑り抵抗が地震時保有水平耐力として地震による慣性力に抵抗することになる。この時の塑性率に相当するものは初期滑りが生じる変位と滑りによる変位の比となる。

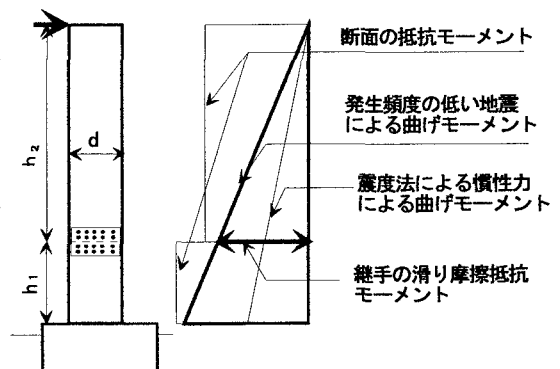


図3 橋脚の抵抗モーメントと摩擦滑り抵抗モーメントの関係

3. 必要孔長

図3で橋脚下部よりある継手より上部の h_2 の部分を考える。橋脚上部の変位を δ 、接合部の最外縁のひずみを ϵ とする。継手が滑り始める点でのひずみを降耐震設計、鋼、橋脚、摩擦継手、横浜市金沢区六浦町4834

伏ひずみに取れば次式が得られる。

$$\delta_Y = \frac{2}{3} \times \frac{h_2^2}{d} \times \epsilon_Y \quad \dots \dots (1)$$

今塑性率に相当する継手の要求摩擦滑り回転角を θ とすると、

$$\mu \times \delta_Y = h_2 \times \theta \quad \dots \dots (2)$$

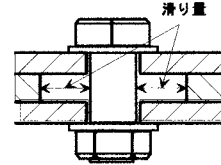


図 4 ボルト孔の滑り量

の関係が得られる。ここで μ は地震時保有水平耐力設計で言う塑性率であるが、ここでは滑り変形量となる。両者を併せると要求滑り角と降伏ひずみの関係が求められる。

$$\theta = \frac{2}{3} \times \frac{h_2}{d} \mu \times \epsilon_Y \quad \dots \dots (3)$$

降伏ひずみを 1.5×10^{-3} , $h_2/d=3$, $\mu=3$ とすると、 $\theta=10^{-3}$ となる。橋脚両縁のひずみが正負を繰り返すとし、橋脚幅 $d=4m$ とすると孔の長さは $20mm$ となる。図4に示したボルト孔の長径は実現可能な値と考えられる。

4. 地震応答から見た耐震性

滑りを起こす高力ボルト摩擦継手から上を一自由度モデルで表わすと図5のように表わすことができよう。ここで、 Φ は継手部に生じる地震動による変位である。ばねに生じているモーメントが摩擦抵抗モーメントより小さければ一自由度の振動体として振動する。前者が後者が大きくなれば、継手は滑りを起こし、運動を起こしている物体に働いている力は慣性力と底部の摩擦力だけとなっている。するとこの振動体の運動方程式は次式となる。

$$m(\ddot{y} + \Phi) = \pm M_f / h_2 \quad \dots \dots (4)$$

ここで、 M_f は継手の摩擦抵抗モーメントである。質量 m に働く慣性力は一定値である摩擦抵抗モーメントによる反力と等しくなるということは、滑り始めるときの慣性力以上の力は継手より上部にある構造には生じないことを意味している。もし橋脚に生じている応力が降伏点付近に達したとき、継手に滑りが生じるなら、それ以上の応力は橋脚に生じないことになる。すなわち橋脚を構成している板の降伏後の座屈強度や変形能力などを考慮して地震時保有水平耐力法を適用する必要はない。従来と全く同じくセミコンパクト断面として橋脚を設計できることになる。

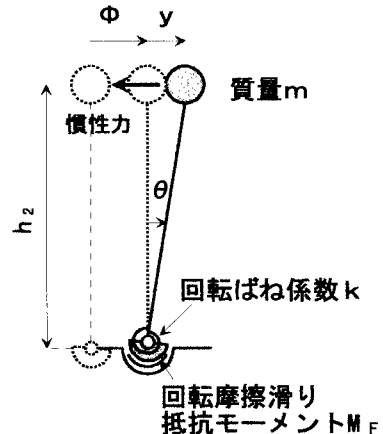


図 5 継手より上部の一自由度系モデル

5. 結論

鋼製橋脚の一部に高力ボルト摩擦接合継手を挿入することにより、その摩擦滑りにより、発生確率が小さい兵庫県南部地震のような大きな地震加速度を持つ地震に対して、大きな応力が発生せず、後座屈変形を期待しなくて良いような設計できる。この場合道路橋示方書で定めている地震時保有水平耐力設計を準用できる。さらに、この方法は強度の増加がない形で、鋼製橋脚の補強する場合にも利用できるものと考えられる。