

強制変形を受ける部材の補強設計に関する一考察

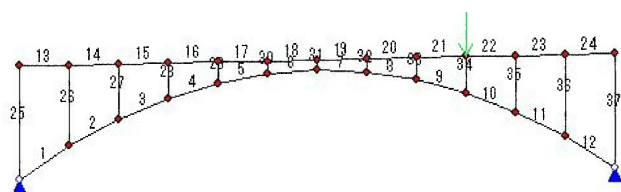
(株) 建設プロジェクトセンター 正会員 ○筒井光男
(株) 溝田設計事務所 フェロー 水田洋司

1. はじめに

部材の補強では、断面積や曲げ剛性を大きくすることが多い。しかし、構造部材の中には断面積や曲げ剛性を上げても応力度が下がらない、あるいは応力度が上がる場合がある。それは、ここで説明する一定量の強制変形を受ける部材である。たとえば、上路ローゼ橋の垂直材のように、剛性の大きいアーチコードと補剛桁を連結しかつそれ自体の剛性が小さい場合は、垂直材の曲げ剛性を変えても橋梁としての変形はあまり変わらない。本文では、部材の剛性を n 倍にした時に、断面力が元の断面力の約 n 倍になる部材を強制変形部材と呼び、その判定や断面力の変化および補強設計上の留意点について説明する。

2. 強制変形部材の判定

図－1 に示す支間120m、ライズ20mのローゼ橋をモデルとし、着目する端柱や垂直材の曲げ剛性を2倍にしてみた。荷重は1/4点に集中荷重。部材の断面性能は表－1、ヤング率は $2.0 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$ 、ポアソン比は0.3とした。解析の結果、補強前後で曲げモーメントは、端柱(部材37)で1.63倍、端から3番目垂直材(部材35)で1.93倍となった。これによりローゼ橋垂直材は強制変形部材といえる。



図－1 ローゼ橋モデル

表－1 断面性能

	A (cm ²)	I (cm ⁴)
アーチ	784	2.092E+06
補剛桁	300	1.2E+06
端柱	270	1.4E+05
垂直材	108	1.32E+04

3. 強制変形部材の挙動

3.1 軸力部材

柱の軸方向に一定の強制変位を与える場合、仮に断面積が2倍になれば、軸力も2倍になり、軸応力は同じである。

3.2 曲げ部材

曲げ剛性が I の片持ち梁の先端を一定量強制変位させるとき、曲げ剛性を2倍にすると、曲げモーメント M も2倍となる。曲げ応力は $\sigma = \frac{M}{I} y$ であるために、補強後で断面高 y が変わらないとき応力は同じであり、 y が大きくなると応力は高くなる。

3.3 セン断部材

部材がせん力を受けて変形するとき、部材両端の変形を同じとし、部材全長の板厚を2倍にすると、せん断ひずみは同じとなり、せん断応力は同じである。

3.4 ねじりを受ける部材

鋼構造でねじりを受け持つことが多い薄肉閉断面部材のBredtのねじりについて調べる。ねじり率は $\omega = \frac{M_t}{4GF^2} \oint \frac{ds}{t}$ で表される¹⁾。ここで、 M_t はねじりモーメント、 G は剪断弾性係数、 F は肉厚中心で囲われる面積、 s は曲線座標。この式より板厚 t をあげて、部材両端のねじり角を一定なるようにねじると、板厚比でねじりモーメントが大きくなり、ねじりによるせん断応力は同じであることが判る。

キーワード：強制変形、補修、補強、アーチ垂直材

連絡先：〒869-1234 熊本県菊池郡大津町引水215-1 TEL 096-293-4400 Fax 096-293-4885

4. 部分補強部材

4.1 軸力部材

全部材長を補強すると3節の通りである。しかし、部材長の一部を残して補強すると状況は異なる。断面積 A の軸力部材を区間 a だけ残して断面積 αA にするととき（図-2）の補強前の軸力を N_1 、補強後を N_2 とすると、その比は次式となる。

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{\alpha}{1 + \frac{a}{L}(\alpha - 1)} \quad (1)$$

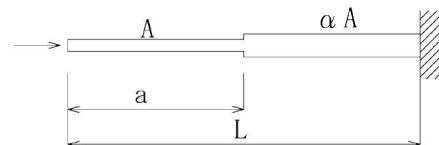


図-2 部分補強軸力部材

式(1)から、補強により軸力は増加し、未補強部分は応力が増加する事が判る。 $\alpha=2$ 、 $a/L=0.1$ とすると軸力は1.82倍となる。

4.2 曲げ部材

部分的に補強された曲げ部材を調べてみる。図-3のように部材長を L 、曲げ剛性を I とし、未補強区間 a を残し、残りを αI に補強する場合を考える。先端で同じ変形を与えるときの補強前の曲げモーメント M_1 と補強後曲げモーメント M_2 との比は次式となる。

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{\alpha}{1 + \left(\frac{a}{L}\right)^3 (\alpha - 1)} \quad (2)$$

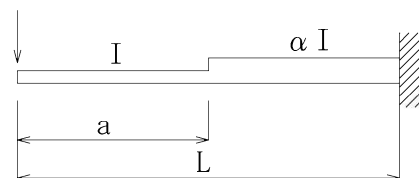


図-3 部分補強片持梁

式(2)において $\alpha=2$ 、 $a/L=0.2$ とすると $M_2/M_1=1.98$ となり、曲げモーメントはほぼ剛度比で増加する。正確には補強後の剛性を用いて全体を解析すればよい。未補強区間が小さいときは近似的に未補強部分の曲げ応力も剛度の比で断面力が増加すると見なしてよい。

4.3 セン断力及びBredtのねじりを受ける部材

図-4の区間 a の板厚を t 、残りを補強後板厚 αt とし、 Q_1 ・ Q_2 をそれぞれ補強前後のせん断力とすると、その比は式(3)となる。また、図-5の薄肉閉断面部材の区間 a の板厚を t 、残りを補強後板厚 αt とし、 M_{t1} ・ M_{t2} をそれぞれ補強前後のねじりモーメントとすると式(4)となる。

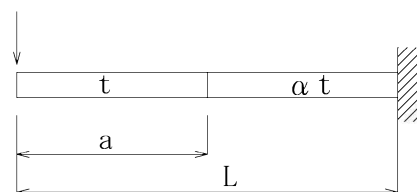


図-4 部分補強せん断梁

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{\alpha}{1 + \frac{a}{L}(\alpha - 1)} \quad (3)$$

$$\frac{M_{t2}}{M_{t1}} = \frac{\alpha}{1 + \frac{a}{L}(\alpha - 1)} \quad (4)$$

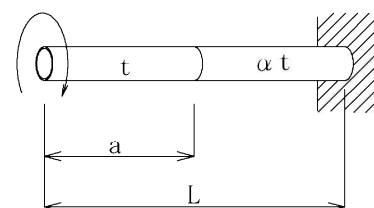


図-5 部分補強ねじり部材

5. 補強設計時の注意

強制変形部材の連結部に高力ボルトやガセットが有る場合は、補強しにくい。仮にその部分を残すと、4節の部分補強部材となり、補強前より応力が増加する可能性が高い。対策としては、実際に部分補強する剛性を用いて構造物全体のモデルで解析を行い、その断面力を用いて未補強部の照査および補強部の設計をおこなう。このとき、部材の剛度は平均ではなく実分布剛度である。照査には溶接部も含まれる。式(1)～(4)の分子は補強前後の断面積・断面二次モーメント・板厚の比、分母の a は未補強区間長であるために、剛性の増加及び範囲を小さくすると応力増加が少ないことが判る。

6. おわりに

一定量の強制変形を受ける部材の断面力および補強設計について論じた。強制変形部材かどうかの判定について2節、断面力増加の推定を4節、設計時の注意を5節に記載した。参考となれば幸いである。

参考文献 1) 高岡宣善、構造部材のねじり解析、共立出版株式会社、P57、昭和49年2月