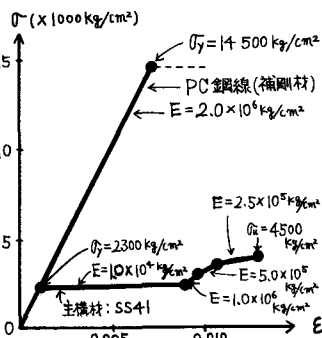


補剛ワーレントラスの非線形挙動

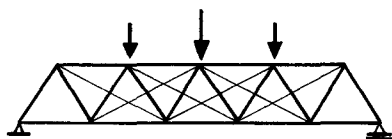
信州大学 正会員 吉澤 孝和

静定トラス構造物においては、一本の構成部材の破壊が系全体の崩壊につながる。ここでは防災上の観点から、災害時における予測の外力に対して系全体の崩壊を防止するための一つの試みとしてワーレントラスに高張力線を取り付けて補強することを考えてみた。

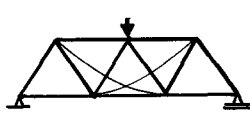
図・1に示すように、PC鋼線は一般の構造用鋼材に比べて非常に高い降伏点と強度を有している。本研究はこの特性を生かそうとしたものである。PC鋼線の配置方式を図・2に示す。(a)図は最初からPC鋼線にも荷重を分担させる方式、(b)図は系の変形がある程度大きくなってから荷重を負担させる方式である。なお、この方式はトラス系の振動時の振幅を減少させて動特性を改善することにも応用できる。橋の自重に対してPC鋼線の占める重量はわずかなものであるから、経済的に橋の安定性を増すことができるものとする。



図・1 SS41とPC鋼線



図・2(a) 最初からPC鋼線に荷重を負担させる方式



図・2(b) 変形がある値に達してから荷重を負担させる方式

解析上の仮定として、トラスの主構材は図・1に示すように降伏点をこえた後でも極限応力に達するまでは、大きなひずみを生じながら抵抗するものとした。また、圧縮材も引張材と同一の応力・ひずみ特性を有するものとした。PC鋼線については降伏点以上の抵抗力は期待していない。

解析式は部材の応力・ひずみ関係の非線形性と同時に、系全体の形状変化の影響も考慮したもので記号的につぎのように示される：

$$D = \underbrace{[P_{(x,y)}]^T}_{\text{節点変位}} \underbrace{S_{(r)}}_{\text{方向余弦}} \underbrace{P_{(x,y)}}_{\text{荷重}} \underbrace{[L - P_{(x,y)}]^T}_{\text{材料力学特性変化}} \underbrace{[C_{(r)} + S_{(r)} B_{(x,y)}]}_{\text{剛度}} \underbrace{]}_{\text{形状変化}}.$$

計算には荷重漸増法を用い、各荷重段階ごとに部材の応力度に対応させて剛性マトリクスを修正しこれと同時に平衡法により系の有限変形の影響を計算する。応力・ひずみ曲線の特性は図・1に示すように5本の直線要素で代表させた。有限変形の影響を平衡法で計算する場合、各部材の応力が降伏点以下の場合には系全体の変形量が小さいため2回の反復計算で節点変位の最大誤差が $\frac{1}{1000}$ 以下に収束するが、主構材が1本でも降伏点に達すると、形状変化が非常に大きくあらわれるため、誤差を $\frac{1}{1000}$ 以下に収束させるのに3～7回の反復計算を要した。

計算例として、図3(a)のトラス系を考える。この系の主構材および補剛材の応力・ひずみ特性は、図1によるものとする。この系では最初から補剛材にも荷重が配分される。

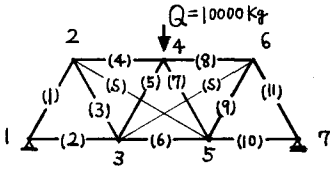


図3 (a) 全部材弾性抵抗

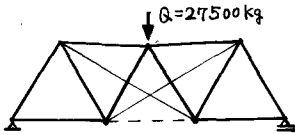


図3 (b) 部材(6)降伏状態

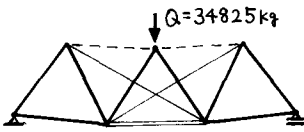


図3 (c) 部材(4)、(8)降伏状態

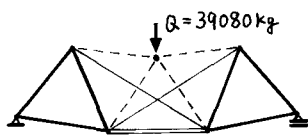


図3 (d) 部材(5)、(7)降伏状態

〔主構材〕

部材長: 200 cm

断面積: 10 cm²

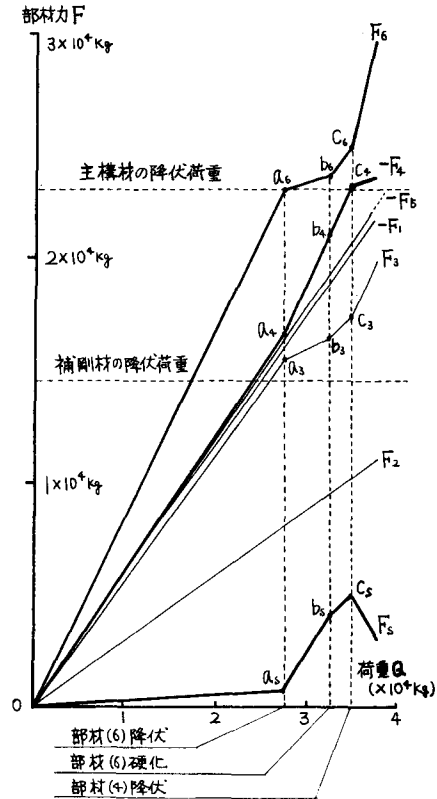
〔補剛材〕

部材長: 346 cm

断面積: 1 cm²

〔註〕— 図3

節点変位: 10倍



図・4 荷重・部材力関係

図3(a)は全部材が弾性領域内で抵抗する状態を示す。荷重配分は主構材に対するものが支配的で補剛材への配分はわずかである。図4の0点から a_6 , a_4 , a_5 点までは荷重と部材力とが直線比例関係にあることを示す。点 a_6 で部材(6)が降伏点に達し、荷重の増分に対する分担率は低下する($a_6 b_6$)。それを補って補剛材の荷重負担率が極度に増加している($a_5 b_5$)。また($a_4 b_4$)は急勾配、($a_3 b_3$)は緩勾配になるのは、この場合の抵抗形態が図3(b)のようになるためである。部材(6)がひずみ硬化領域に達するのが図4の点 b_6 であり、それ以後の荷重増分に対する各部材の荷重分担は($b_6 c_6$)、($b_5 c_5$)のように変化するものと($b_4 c_4$)、($b_3 c_3$)のように変化するものの2つのグループに分かれる。つぎに、補剛材の上端部の支持材として作用している部材(4)、(8)が点 c_4 で降伏点に達すると補剛材の部材力は c_6 点以降に見られるように極端に低下していく。この場合の抵抗形態は図3(c)に示される。節点荷重が $Q = 39080 \text{ kg}$ になると部材(5)、(7)が降伏点に達する。そのときの系の抵抗機構は図3(d)のようになる。この機構ではもはや外力に対して抵抗できないことは明らかであり、数値計算においてもこの荷重段階になると解が収束しなくなる。よってこの場合の破壊荷重は 39080 kg と考えられる。このようにして補剛材を用いてトラス系の耐荷力を増大させることができる。