

1. まえがき

通常の鉄筋コンクリートでは、コンクリートの引張の弱点を適切な鉄筋が補っているが、プレストレスト・コンクリートでは、力学的には引張と圧縮の両方に抵抗できるものとしてコンクリートが扱えるところに本質があるとか、部材の応力度の計算では、全断面が有効であるとして計算することができ（RCでは $1/3 \sim 1/4$ 程度しか有効でない）、梁断面を小さくできる、というような説明が殆どの教科書・参考書でなされている。土木学会の土木工学ハンドブック¹⁾でも「プレストレスト・コンクリート部材の場合は全断面有効の設計も可能であるので、同じ設計荷重に対して、プレストレスト・コンクリートは鉄筋コンクリートに比べて部材断面を小さくすることができる」と説明されている。これらはいずれも、プレストレスが部材の強度を高めているという認識にたっている。しかし「全断面有効として計算するから有利である」というような認識が適切でないことは、実はずっと以前に指摘されていた²⁾。それにも拘らず、このような説明がなされているのは、プレストレスと強度の関係および形状がスレンダーとなる理由について、これまで必ずしもきちんと整理されていなかったためだと考えられる。そこで以下本文の基本となる既存の定理について簡単に触れ、プレストレスの働きについて検討し、プレストレスト・コンクリートのメリットについて改めて考察してみたい。またこれに関連して、土木学会のコンクリート標準示方書の解説の疑問点についても指摘したい。

2. 定理

温度変化、乾燥収縮、クリープとか不同沈下による応力など、強制変形に伴って発生する応力を自己歪み応力という。これについては次のような定理^{3) 4)}がある。『自己歪み応力は、完全塑性を持つ構造物の破壊に関係しない』自己歪み応力は、弾性範囲内では外力の影響に対して局部的に安全側もしくは危険側の影響を与えるが、材料の塑性的性質（粘り）が関係してくると、次第に外力によるものによって置き換えられ、最終的には消滅する。例えば門形ラーメンでは、温度変化に伴って発生する曲げモーメントを、水平外力の作用によって発生する曲げモーメントに単純に合成すると、ラーメンの片側半分は加算され、片側半分は減算される。この状態から更に水平外力を増加させると、片側半分の柱の上下端に塑性ヒンジが発生し、その後の外力増分は残りの半分で抵抗する。崩壊するのはこの柱の上下端に塑性ヒンジが発生する曲げモーメント分布状態で起きるのであるから、結局温度変化に伴って発生する曲げモーメントは崩壊に関係しないことになる。結果的には温度変化に伴って発生する曲げモーメントは外力による曲げモーメントによって置き換えられ、消滅したことになる。このことは、崩壊状態に近付くと、温度変化による変形が拘束されなくなる（自己歪み応力は変形が拘束されることにより発生する）ことから容易に理解することができる。

3. プレストレスの働きについて

プレストレスは自己歪み応力であるから、破壊に対する安全性を高める働きはない。勿論、PC梁の抵抗モーメントがプレストレスに関係しないことは以前から認識されている。また土木学会のコンクリート標準示方書の11.3の解説でも適切に説明されている。しかし、何故「鉄筋コンクリートもプレストレストコンクリートも本質的には同じ」になるのかについての説明がなく、しかも冒頭で述べたような教科書・参考書の説明などもあって、次のようにはっきりと認識されていないように思う。

終局限界状態で断面寸法が決まるものとするれば、「プレストレスト・コンクリートがPC鋼材をプレストレスの入っていない鉄筋と考えた鉄筋コンクリートとなんら変わらない」ことになる理由を分かり易く説明すると次のようである。プレストレスがコンクリートに力を付与して、断面もしくは骨組みの強度を高めているのではない。結果的には通常の鉄筋と同じ働きを鋼材がすることによって強度を高めているのである。プレストレスは見かけ上コンクリートに強度を付与（プラス）しているようだが、その分だけ鋼材は無理（マ

イナス）していて、トータルではその効果はキャンセルされて同じことになるのである。つまり鋼材の強度が部材の強度を高めているのであって、プレストレスが強度を高めているのではないのである。「コンクリートが引張と圧縮の両方に抵抗できるものとして扱える」のは弾性範囲の話であって、部材としての強度には関係のない話である。PCでもRCと同じように、「コンクリートの引張の弱点を適切な鋼材が補っている」のである。PCの原理を説明するのに、手で水平方向に力を加えてマージャン牌を持ち上げる話とか、将来の支出に対する貯蓄のことがよく例として挙げられる。しかしこれらの比喩はPCの原理を説明するものとしては適切ではない。マージャン牌の例では、PCとはメカニズムの違うものによって、プレストレスが牌の崩れを防ぐ、つまり強度を付与すると説明していて、不適切である。貯蓄も赤字をコンクリートのひび割れとして説明すれば良いが、通常は引張破壊を意味していて適切でない。PCの利点は殆どひび割れを制御できることから生まれるものである。『ひび割れが発生しないから、①鉄筋より遥かに高強度の鋼材を有効に利用でき（単に鉄筋として強度を有効に利用しようとしたら、過度のひび割れは避けられず、実際問題として鉄筋としては使用できない）、さらにプレストレスの消滅を少なくするために、高強度のコンクリートを用いることもあって、RCよりスレンダーな断面とすることができ、また自重も軽減され、長大スパンのものが設計可能となる。②運搬移動が可能になり、工場製品とか現場近くで制作したものを架設でき、RCのように現場を長期に支障させずに、しかも良い品質のものが施工できる。③耐久性・水密性に優れている。』

4. 土木学会のコンクリート標準示方書の解説中の疑問点

土木学会のコンクリート標準示方書の5.2（4）の解説で、「終局限界状態の検討を行うべき段階では、一般に部材は大変形を示し、気象作用による温度変化、乾燥収縮、クリープ等による変形の占める比率は著しく小さくなるので、終局限界状態を検討するための断面力の算定に際しては、これらの強制変形による断面力を無視することができることにした」（注.下線は筆者による）とある。この問題は単にプレストレス・コンクリートに限らないが、本文で述べていることと関連するので取り上げる。終局限界状態時には通常の外力による大変形に比べて、温度変化等による変形は著しく小さくなるのではなく、前述の定理「強制変形による断面力は終局時には結果的に消滅し、構造物の破壊には基本的に関係しない」によっている。

また土木学会のコンクリート標準示方書の11.1の解説で、「コンクリート部材に導入されるプレストレス力の設計計算での取扱いとしては、一般に使用限界状態に対する検討においてはプレストレス力を荷重と考え、終局限界状態に対する検討においてはプレストレス力の効果を断面の耐力算定に含めるので、荷重としては不静定力のみを考えればよい」（注.下線は筆者による）とある。本文ですでに指摘したように、プレストレス力は断面の終局耐力には影響を与えないのであり、「プレストレス力の効果を断面の耐力算定に含める」という説明は適切ではない。したがってこれを理由に「荷重としては不静定力のみを考えればよい」という説明も不適切である。なおこれに関連して、コンクリート標準示方書（平成3年版）改訂資料およびコンクリート技術の今後の動向の90ページには、「現行示方書では終局限界状態においてプレストレス力が消失すると表現されているが、これはプレストレス力の効果そのものの消失と受け取ることができ、また、不静定力の取扱いに誤解を生じやすい。一般に、プレストレス（一次、静定）力は、断面力としてではなく終局耐力を算定する際に断面内の釣合におけるPC鋼材のひずみの初期値として取扱われており、また、終局限界状態のプレストレス力による不静定力は部材のもつ分配能力に応じて残存する。このような意味で原文を修正したが、断面力の算定方法という観点では上記の意味を伝え難いので、ここではプレストレス力の取扱い方法として記述することとした」とある。この説明は非常に分かりにくいし、適切でもない。これまで述べてきたように、終局限界状態においては、静定（一次）プレストレス力も不静定プレストレス力も結果的に消失するのである。なお不静定プレストレス力を必ずしも考慮に入れる必要はないが、考慮に入れた方がよい。

参考文献 1) 土木学会：土木工学ハンドブックⅠ、p.994、技報堂出版、平成元年。2) 横道英雄：コンクリート橋、p.295、技報堂、昭和37年。3) 小野薫、田中尚：建築物のリミットデザイン、p.92、理工図書、昭和31年。4) 日本建築学会：建築構造物のリミットアナリシス、p.35、日本建築学会、昭和38年。