

論文の内容の要旨

論文題目 社会の持続的発展を意図したプレストレス技術の考究

氏名 黒沢亮平

本論文は、著者が約60年間に亘り一貫して探究および技術開発したプレストレス技術に関する成果を「社会の持続的発展」の見地から学術的に考究し、取りまとめたものである。

1. プレストレス技術発展への取り組み

著者はプレストレス技術を用いて橋梁および斜面防災の設計施工と技術開発および建築のラーメン構造の新しい高耐震工法を開発し、以下のように実用化した。(1) PC構造はエネルギー吸収がないので耐震性に劣ると建築分野で考えられてきたにも拘らず、PC構造の優れた独自の耐震技術を開発し、発展普及させた。(2) PC構造の耐久性の主要な問題はPC鋼材の腐食劣化であるが、全素線エポキシ樹脂塗装PC鋼材を独自に開発、実用化してプレストレス技術を発展させた。(3) 斜面や地盤防災のために独自のグラウンドアンカー技術を開発し、実用化して全国に普及させた。独自の定着工法も開発した。(4) 鋼要素と複合させたPC橋(SPC橋)を開発し、長スパン化を可能にして河川中の橋脚を省いて洪水時の安全性を高めた。(5) PC技術を活用した防災人工地盤を提案した。

2. プレストレス力の本質的特性

プレストレス力と重力(万有引力)との決定的な違いは、前者が常に緊張材の接線方向の力であり、後者は常に鉛直方向の力である。前者は復元性を有し、耐震的である。

線材に引張力を与えた状態で両端を固定すると線材はその直交方向の力に抵抗できる。従って緊張定着されたPC鋼材を持つプレストレストコンクリート(以下PC)部材は、曲げ変形に伴ってPC鋼材自身の直交方向の抵抗力が付加されるのでこの抵抗力について明確にすることが重要である。この抵抗力は内力として同時に存在するコンクリートの圧縮力による逆向きの作用によって打ち消されることを理論的、実験的に明らかにした。

PC固有の復元力特性と耐震性に関しては、部材が変形してひずみエネルギーが生じる場合、弾性ひずみエネルギーは復元力として保存され、塑性ひずみエネルギーは消費したエネルギーであって復元力には寄与できない。すなわち、PC部材では変形のほとんどすべてが弾性ひずみエネルギーであって復元性能に全て寄与できる。PC部材では荷重変位の

関係において第2象限の潜在ひずみエネルギーを考えればよいことを見出したのである。

PC部材のバイリニアな変形特性は地震応答時の固有周期が変化するので共振による応答の増大を回避することができる。PC構造は鉄筋コンクリート構造における鉄筋の降伏による塑性変形によって振動エネルギーを吸収することと異なり、コンクリートやPC鋼材が健全な状態で地震応答を制御できるのでPC構造固有の減震性能を本質的に有しているのでありPC構造の耐震性能を考える場合、「弾性エネルギー一定則」の設計概念の構築が可能である。

3. PC鋼材の高耐久化の画期的技術開発

著者が1990年代後半に開発したその防錆方法とは、PC鋼より線の各素線にそれぞれの防錆被膜を形成する方法で、全素線塗装型と称するものである。全素線塗装型は、防錆処理後のPC鋼より線は無塗装のPC鋼より線と同様の柔軟性を保持し、グラウトやコンクリートとの付着性に必要なより溝も残存させたものである。全素線塗装型PC鋼より線の機械的性質やコンクリートとの付着といった基本性能は普通PC鋼より線と同等である。全素線塗装型PC鋼より線は素線個々の塗膜により鋼線同士のフレッティング疲労を抑制するため、耐疲労性能は普通PC鋼より線よりも優れる。耐疲労性能が求められる構造物の安全性がさらに高められる。全素線塗装型PC鋼より線は裸（普通）PC鋼より線と同じクサビが使用でき、新しく専用の定着具を作らなくともよい。PC鋼より線の各素線に亜鉛めっきとエポキシ樹脂塗膜の二重防錆層を設けた全素線二重防錆型PC鋼より線を開発し、塩水噴霧試験によりエポキシ樹脂塗膜が損傷した場合の亜鉛めっきによる防錆性能補填効果を確認した。

4. PC圧着関節工法の研究と開発

ラーメン構造では柱梁接合部は剛な節点を形成し、不静定性を構成して構造全体としての剛性確保の要となっている。特に地震力のような水平荷重に対しては水平変位の抑制にその剛性は必須である。PC圧着関節工法はこの剛な接合部に着目して著者が開発した類のない耐震技術である。PC圧着関節工法は、プレキャスト・PC部材を用いて柱に配置された鉛直PC鋼棒により柱の自立を容易に行い、柱に設けたコーベルに梁を載せることで支保工を必要としない。梁は予め工場ですべて1次ケーブルによりプレストレスを導入し、現場で2次ケーブルによりプレストレスを導入して、柱と梁を圧着接合する。本工法の原形は、昭和57年に深谷上柴ショッピングセンター新築工事である。

PC圧着関節工法において、稀に発生する地震動、層間変形角 $R=1/100$ までは、フルプレストレスの状態になるように、PC鋼材に適切な張力を与えて置く。それ以上の極大地震の場合には、柱のコーベル上の目地部分が初めてパーシャルプレストレスの状態になり回転を起こし、圧着目地部の目地離間が始まる。この状態になってもPC鋼材には十分な余力を持たせ、PC鋼材は弾性状態で高い復元性を有する。

PC圧着関節工法は梁や柱がPC構造であることにより、部材は基本的に全断面を有効と

する剛性を持ち、変形時にラーメンとしての剛性が保たれる。

鉄骨構造は、本質的に剛性が小さい。ブレースや耐震壁で剛性を高めることは、ラーメン構造の曲げ剛性を高めるのではなく、せん断剛性を高めることになるのでラーメンとしての機能が減少し、構造全体を剛構造に近い状態に移行させることになる。その結果、水平力が作用するとラーメンの柱に作用する軸力が大いに変化してラーメン端部の柱に集中することになる。従って、ブレースや耐震壁によって補強するとラーメン端部の柱の軸力が大幅に増加して危険となることがある。

PC圧着関節工法は、構造体のラーメンの機能を確保しながら耐震性を格段に高めることができるのであり、この点からも以下に述べるように決定的に卓越した耐震技術なのである。(1) 接合部にひずみエネルギーが潜在的に存在することにより接合面の剛性が確保されるとともに離間後はバイリニアによる弾性変形で復元性のエンジンを確実に保有しながら共振を回避する性能を持つのである。(2) PC圧着関節工法が耐震性能に卓越しているのは、ラーメン構造として地震力に対し、構造物に損傷回避 (Fail-Free)、原点回帰 (Self Return) およびバイリニア型健全性確保 (Bilinear Consistency) の性能を付与することにある。(3) 柱や梁をプレキャストPC部材とすることにより、柱部に設置されたコーベル部分にプレキャスト梁を載せることで架設性が画期的に向上するとともにコーベルの存在によって地震時に梁端の鉛直方向への滑り落ちが完全に回避され安全が確保されるのである。(4) 免震構造との組み合わせに有利である。(5) 設計には「弾性エネルギー一定則」が適用できる。

5. プレストレス技術の知的権利の意義

PC構造は、本邦への導入当初から常に特許と表裏一体の工法であった。素材、工法ともに特許に守られ発展をして来た。但し、最も優れた技術、適正な価格の技術がシェアを席卷する訳ではない。そこには常に供給する側とされる側の力関係が存在する。結果としてエンドユーザーが最上の製品を適切な価格で受け取れないと言う事になる。

1960年の建設省告示第223号から現在に至るまでPC造は、RC造、S造と比較して荷重条件(地震係数の1.5倍の割り増し)が厳しく設定されている。この割り増し係数が設定された理由として「PC造は弾性に富み、外力による構造体のエネルギー吸収量が極端に小さい。だから、短期許容応力度計算で地震力の割り増し係数1.5が必要である」とされてきた。

2段階設計法の特許はPC構造の優れたバイリニア型の耐震性を積極的に取り入れて展開させ、社会の持続的発展に寄与するものである。東日本大震災の半年後、2011年10月23日トルコ東部地震が発生した。トルコの東部ヴァン湖の畔、ヴァン市の建物の多くは崩壊した。PC圧着関節工法の建物は唯一被害が全くなかった。1999年以降、KTB・PC圧着工法でトルコ国内に数多くの建物(住宅、研究施設、倉庫、ショッピングセンター等)を建築した。これらの建物は、4回の大震災をトルコ国内の各地で受けたが建物は無損傷であり、本工法の信頼性はトルコ国内で高い評価を受けている。著者はベトナム国にSCストランド

の製造設備をヴェトナム政府関連の関係者と共に設置し、ヴェトナム国の工業製品として製造を開始した。

6. 社会の持続的発展を意図した人工地盤の考究

社会の持続的発展のためには防災を大きな課題とする必要がある。これまでに著者が開発した高耐久で耐震性に優れたプレストレス技術を要素技術として今後の社会基盤の整備を進めることが肝要である。PC圧着関節工法に代表される地震後の復元性能の画期的に優れた耐震技術、SCストランドに代表される高耐久なPC鋼材の防錆技術、KTBAンカー工法に代表される地盤の安全技術はいずれも著者の着想で開発、実用化された技術であり、人工地盤形成の条件を総合的に満たすものと考えられる。

7. 結論

論文の課題である社会の持続的発展の意義について先ず考え、次にプレストレス技術の歴史的な存在を改めて認識した上で著者がこれまで取り組んできたプレストレス技術の成果を社会の持続的発展の枠組みとして構築する意義を明らかにした。

PC固有の力学特性、PC固有の耐震的復元力特性、PC鋼材の高耐久化、PC圧着関節工法、知的権利の意義、および防災人工地盤について多くの実績を示しながら考究した。