

京都大学	博士（工学）	氏名	中井 政義
論文題目	建築構造の高弾性化と超大スパン化に向けた超高強度鋼の活用		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、超高強度鋼が持つ高い弾性限変形を活用した建築構造の高弾性化に関する設計法の提案、実大構造物の加力実験による提案設計法の検証、高い弾性限強度を有する超高強度鋼を大規模ドーム構造に適用することによる鋼材量、建設コストの低減効果、さらなる超大スパン化の可能性についてまとめたものであり、全7章から構成されている。</p> <p>第1章は序論であり、近々予測される首都圏直下や南海トラフ等での巨大地震に対する建築構造の耐震性能のさらなる向上の必要性和、低炭素社会の実現に向けた建物の長寿命化・高耐久化、省資源・省エネおよび資源のリユース・リサイクルのニーズの高まりという社会背景下における本研究の意義と目的について述べ、論文全体の構成について記述している。</p> <p>第2章では、JIS規格材以外の建築用高強度鋼材の開発の動向を総括し、「府省連携プロジェクト」で新たに開発され従来の高強度鋼より低コストで製造が可能な780N/mm²級超高強度鋼材（H-SA700）の特性とその位置付けを述べるとともに、超高強度鋼が有する高い降伏点（弾性限）とそれに対応する大きな弾性変形性能を、鋼構造建築物に活用するための設計法や構法に考察を加えている。</p> <p>第3章では、従来の鋼材の2倍以上の変形領域まで鋼材が弾性で追従できるという超高強度鋼の長所を有効に活用し、国交省告示で定義される「極稀地震動」を上回る巨大地震に対しても建物の層間変形角を目標性能（最大で1/75程度）以内に抑え、鉄骨主架構を無損傷（弾性域）に留めることをめざした主架構無損傷設計法を提案している。この設計法は「パッシブ制振設計法」を基礎にしたもので、目標性能（層間変形角、応答加速度、ダンパーの最大塑性率）とそれらに対して要求される主架構と履歴系（鋼材）ダンパーの関係を包括的に把握できるように設計法を展開し、設計者が使いやすい「性能設計図表」として整備することによって、能動的な性能設計を可能にしている。</p> <p>第4章では、「府省連携プロジェクト」で開発された、材料（超高強度鋼：H-SA700）、部材（溶接接合による柱・梁接合部、リユース性を考慮した柱・柱接合部、PCaスラブシステム）、主架構無損傷設計法等の個別技術要素が、「新構造システム」として実用化に資するかどうかを検証している。具体的には、第3章で提案した主架構無損傷</p>			

設計法に基づいて設計した超高強度鋼 (H-SA700B) を用いた実大構造物に、3種類の地震動 (震度7相当) を入力して得られた解析結果を静的増分加力実験により再現し、目標性能である最大層間変形角 $1/75$ まで主架構を弾性に保持できることを実証するとともに、解析値と実験値との整合性の確認によって無損傷設計法の妥当性を検証している。また、同一の試験体を用いて変形性能確認実験を実施し、柱・梁溶接接合部、梁・梁高力ボルト接合部の設計などについて通常の鋼構造建築物と同等のディテール設計を行うことにより、層間変形角で $1/50$ 程度の大変形領域まで主架構を弾性に留めることが可能であることを確認している。さらに、加力実験終了後に精密解体を行い、柱、梁、床版の目視検査および寸法検査を実施することから、実験前後の部材寸法を確認し、リユース・リサイクルが可能であることを実証している。

第5章では、実施設計・施工された3種類のドーム建築を中心に、直径が 200m を超える大規模ドームの設計を俯瞰し、その設計荷重 (常時荷重 (固定、積載)、雪荷重、風荷重、地震荷重など) に対する構造設計の概要を総括することから、より大きなドームの設計可能性を分析している。

第6章では、これまでのドーム規模を遙かに上回る直径 300m 級の超大規模ドームの屋根架構を対象とし、「従来鋼・非免震」、「高強度鋼・非免震」、「従来鋼・免震」、および「高強度鋼・免震」の4種類の組み合わせに対して試設計を行い、高強度鋼の利用と免震化が鋼材量や建設コストにもたらす効果を定量的に評価している。その結果に基づいて、合理的かつ経済的な大規模ドームを実現するためには、屋根の軽量化と地震力の低減が不可欠であり、高強度鋼の利用と免震化はこれら課題を解決するために極めて有効な手段となり得ることを実証している。また、直径 $1,000\text{m}$ のドームの概略設計を行い、屋根主架構に高強度鋼材 ($590\text{N/mm}^2 \sim 780\text{N/mm}^2$ 級) を用いることによって、従来鋼を用いてはなしえない直径 $1,000\text{m}$ ドームが構造体として成立し得ることを検証している。

第7章では、各章ごとに得られた知見、成果をまとめている。

(論文審査の結果の要旨)

首都圏直下や南海トラフでの巨大地震の発生確率が高まるなか、建築構造物の耐震性能の一層の向上は緊喫の課題である。また、低炭素社会の実現に向けた建物の長寿命化、省資源・省エネ、資源のリユース・リサイクルへのニーズの高まりも見逃せない。本研究では、これら動きに呼応して開発されたリユース性が高い超高強度鋼（H-SA700）を用い、それが持つ大きな弾性限変形と弾性限強度を活用して、巨大地震に対しても主架構を弾性範囲に留める設計法の提案、実大構造物に対する実験を通じたリユース性も考慮した設計法の検証、さらに、従来の大きさを遙かに超える大スパンドーム構造への適用を骨子とした内容で、以下の点において際立っている。

1. 780N 級の超高強度鋼を用い、現行設計地震力の 1.5 倍以上の巨大地震に対しても主架構を弾性域に留める「主架構無損傷設計法」を提案した。この設計法は主架構の弾性を前提とした制振構造の簡易応答予測手法に準拠するもので、「性能設計図表」を提供することによって、最大層間変形などの目標性能とそれに対して要求される主架構とダンパーの関係が包括的に取り扱えるように工夫されている。

2. 主架構無損傷設計法に基づいて超高強度鋼を適用した実大構造物を設計・施工し、その性能を一連の載荷実験から検証した。設計地震力の 1.5 倍以上の巨大地震に対して、主架構は弾性限以下に層間変形角は $1/75$ 以下に留まること、通常の詳細設計を用いても層間変形角が $1/50$ に至るまで主架構を弾性に保持できること、を確認している。また、加力後に精密解体試験を行い、PCa スラブも含めた柱、梁のリユースの可能性を検証した。

3. スパン長が 300m となるドーム主架構に関し、従来鋼の代わりに超高強度鋼を用いることで鋼材量を 70% 程度に低減できること、ドームの免震化によっても鋼材量を 70% 程度に低減できること、これらを併用することによって従来型の設計に対して鋼材量を 50% に減じる可能性を、一連の解析と設計から明かにした。さらに建設コスト（材工費と施工費）についても、超高強度鋼と免震を併用することによって、従来型に比べて 60% 程度になることを指摘している。

本論文は、超高強度鋼を用いた主架構無損傷設計法の構築、関連実証実験の実施、超高強度鋼と免震を併用した長大スパンを有するドームの提案を通じて、建築物の耐震性能の向上と長寿命化・リユース化を一挙に実現する手法を提案するなど、学術上、実用上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 25 年 8 月 27 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。