

学位論文題名

鉄筋コンクリート造建物の温度応答に関する研究

－温度荷重の推定と骨組の挙動－

学位論文内容の要旨

鉄筋コンクリート造建物の温度応力が原因と考えられるひび割れは、建物の規模、形態によっては著しい場合もみられ、損傷事例の報告も幾つかなされている。この種のひび割れは、耐久性、美観性の観点から好ましいものではない。

一方、温度応力をはじめとする自己歪に伴う応力は完全塑性理論によれば、終局耐力に影響を及ぼさないが、自己歪応力による部材の損傷で剛性が低下した場合には地震時の応答変位が予想外に大きくなる恐れもあり、外気温の年較差が大きい温度環境下では交番塑性が生起する可能性もある。

しかし、温度伸縮に関する部材の有効温度の実態が不明であるなどの理由によって、設計上有効に利用できる温度荷重、温度応力の評価法は未だ確立されていない。このため、日本建築学会の規準では必要に応じて考慮することとされているが、その取り扱いは設計者の判断に委ねられている。

温度応力を定量的に評価するためには、温度伸縮を引き起こす外気温度、日射温度、地中温度、室内温度等をはじめとする様々な要因について明らかにし、それらを基に部材の有効温度を推定する必要がある。しかし、構造物の架構形状、部材の断面寸法、断熱仕様等によって建物の熱特性が個々に異なるため、任意形状の建物について温度荷重を適切に設定することは容易ではない。

温度変動に伴う建物の温度変形は、部材の長さ方向温度伸縮と板厚方向の温度勾配による面外曲げ変形の2種類に分けられる。本研究は前者を対象として、実在6層建物の温度伸縮の実態を調べ、温度応力立体解析法、部材の有効温度を推定する非定常熱伝導解析法を提示し、計測値と比較してそれらの結果を踏まえて6層建物の温度荷重の推定を試み、併せて繰返し温度変化を受ける骨組の弾塑性解析法を提案して骨組の損傷について述べたもので、全7章よりなっている。

第1章は諸論であり、鉄筋コンクリート造建物の温度応力の現状の取り扱いについて問題点を指摘した後、既往の研究について概観して本研究の目的と研究範囲を明らかにした。

第2章では、大野和男博士が計測した1層および3層建物とその用途、規模が異なる実在6層建物（北大工学部A棟）の暖房期を含めた通年の温度伸縮計測結果について述べた。この計測により、最上階の伸縮量は外気温、その他の階の伸縮量はそれぞれの室内温と相関が強いこと、冬季の暖房は建物の縮みを抑制すること、伸縮の変動が最も大きい屋根スラブの日間変動は、日射の影響を受けた場合で年間伸縮変動のおおよそ30%近い値に達することもあること等を明らかにした。

第3章では、スラブ、直交する壁、はりなどの立体効果を取り込んだ置換トラス法による弾性立体解析法を提示して上記3例の建物に適用し、計測結果と比較した。

その結果、年単位あるいは季節単位の建物の温度伸縮挙動が季節を通じて均した外気温、室内温のみを考慮した簡単なデータを与えた本解析法で精度よく把握できること、温度応答解析用の温度条件は、断熱材の入れ方等を考慮して建物を適切に領域分割して構面ごとに与える方が、従来の全部材一様温度昇降とするよりも実態に良くあうこと等を明らかにした。

第4章では、温度伸縮に関する部材の有効温度を推定する有限要素法による3次元非定常熱伝導解析法を提示した。

これを柱型試験体の内部温度の推移を調べた実験と比較し、非常に精度よく部材の内部および表面温度の推移を把握でき、試験体の平均温度の変動は日平均値でとらえるならば、室内温の日平均温度の変動と良い対応関係を示すこと、実在建物（北海学園大学工学部I号館旧図書室）の3次元骨組に適用し、躯体表面温度の計測結果とおむね良好な一致がみられることを明らかにし、本解析法が部材の温度伸縮に関する有効温度の推定に有用であることを示した。

また、この解析結果から部材の有効温度を求めたところ、屋根スラブの有効温度が外気温の変動に対する振幅比は0.5弱、 $60 \times 60\text{cm}$ 程度の角柱部材のそれは約0.2～0.4であること等を明らかにした。

第5章では前章の結果を踏まえ、気温と日射の影響のみを考慮し、温度伸縮を計測した北大工学部A棟の屋根スラブの温度荷重について以下の結論を得た。

温度荷重は、年周期の伸縮変動に対応する温度荷重と夏冬の最高、最低外気温の日間変動と夏季の日射の効果分の温度荷重の和に等しいと考え、試算値を求めた。この試算値に弾性立体解析で得られた各階の単位外気温当りの伸縮量を掛けて求めた略算値は、実測値と良い対応を示した。過去25年間(1966～1990)の気象データに基づく上記建物の温度荷重は、 45°C となり、外気温の年別極値から得られる年較差の再現期待値に較べその値は小さく、再現期待値を直接そのまま温度荷重とする必要はないことを指摘した。

第6章では、繰返し温度変化を受ける骨組の弾塑性解析法について述べ、骨組の損傷について検討した。

本章の解析法は、部材の任意点の曲げモーメント-曲率関係をTri-linearに仮定した柔域モデルを適用し、それにDegrading Tri-linear型の履歴則を随伴させて正負繰返し荷重に適用可能のように拡張したものである。本解析法により、骨組の損傷過程、塑性変形、塑性応力、交番塑性発生温度歪などの詳細な弾塑性挙動の把握が可能となった。

本章では、柱脚完全固定1層多スパン純ラーメン骨組の計算例を示し、札幌市を想定した場合、前章で求めた試算値ではひび割れは全長10スパン(60m)程度の骨組になると相当程度生ずるが、さらにスパン数を増大させても交番塑性崩壊の危険性はないことを明らかにした。また、弾性解析の結果が得られれば、それより求まるひび割れ発生温度歪から交番塑性発生限界温度歪の変化幅の値を求めることができる簡便な予測式の一例を示した。

最後に、第7章で本研究の内容を総括した。

学位論文審査の要旨

主査 教授 石山祐二
副査 教授 城 攻
副査 教授 荒谷 登
副査 教授 井野 智

学位論文題名

鉄筋コンクリート造建物の温度応答に関する研究

－温度荷重の推定と骨組の挙動－

鉄筋コンクリート造建物の温度応力によるひび割れは、耐久性・美観性の観点からも好ましいものではなく、地震時の応答変位の増大を生起する恐れもある。日本建築学会の規準では必要に応じて温度応力を考慮すべきとされているが、設計上有効に利用できる温度荷重、温度応力の評価法は未だ確立されていない状況にある。

本論文は、温度応答に関する未解明の諸点を明らかにすることを目的に、コンクリート硬化後の部材の長さ方向温度伸縮に伴う温度応力を対象として、温度荷重の推定と骨組の損傷について論じたものである。以下に審査の要旨について述べる。

①有限要素法による3次元非定常熱伝導解析を行い、柱型試験体の内部温度の推移を調べた実験および実在建物の躯体表面温度の計測結果と比較し、温度伸縮に関する部材の有効温度を推定した。有効温度は、建物の熱容量などの影響を受けるため、これまで適切に評価された例はみあたらない。

②上記の有効温度と北大工学部A棟の温度伸縮計測結果および弾性立体解析結果から、内断熱建物の場合、札幌市を想定すると過去25年間(1966～1990)の気象データに基づく温度荷重を、45°Cとみなしてよいことを明らかにした。著者は、このようにして得られた温度荷重と適切な温度条件を考慮した立体解析結果を計測結果と比較し、おむね妥当な結果が期待できることを確認している。従来の研究では、実測や解析に基づいた温度荷重の設定はなされておらず、温度条件についても全部材一様温度昇降とするなど実態に即したものではなかった。温度応答解析を行う上でこの種の入力データに関する条件整備は非常に重要であり、不可欠なものと判断される。

③正負繰返し温度荷重を受ける骨組の弾塑性解析法を新たに提案し、柱・はりの温度応力が最も大となる1層多スパン純ラーメン骨組の計算例を示し、上記の温度荷重ではひび割れは避けられないが、交番塑性発生の危険性はないことを明らかにした。温度応答問題において、交番塑性発生の危険性について検証したのは、本論文が初めてであり、札幌市における骨組の損傷としてはひび割れ問題にその範囲が限定されることを明らかにした意義は大きい。

以上のように著者は、設計上有効に利用できる温度荷重の推定、温度応力の評価法など、鉄筋コンクリート造建物の温度応答問題について有益な新知見を得たものであり、建築構造学の進歩に寄与するところ大なるものがある。よって、著者は、北海道

大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。