

| | |
|-------------|---|
| 氏 名 | いし だ ひろ あき 石 田 博 樹 |
| 授 与 学 位 | 博 士 (工 学) |
| 学位授与年月日 | 平成 6 年 3 月 16 日 |
| 学位授与の根拠法規 | 学位規則第 5 条第 2 項 |
| 最 終 学 歴 | 昭 和 43 年 3 月 防衛大学校理工学専攻土木工学専門課程卒業 |
| 学 位 論 文 題 目 | 鉄筋コンクリートラーメン構造の時間依存挙動に 関する研究 |
| 論 文 審 査 委 員 | 東北大学教授 尾坂 芳夫 東北大学教授 福田 正 東北大学教授 三浦 尚 東北大学助教授 鈴木 基行 |

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

鉄筋コンクリートラーメン構造のような不静定骨組構造のある部材に温度変化が生ずると、その部材には温度変化に見合った膨張や収縮が生じる。この際、不静定構造では部材の拘束による断面力が生起される。これは温度によって生ずる内部応力であるため、通常温度応力と呼ばれている。この温度応力の大きさは、温度変化と部材の線膨張係数ならびに構造物を構成する部材の剛性によって左右される。コンクリート構造物の部材の剛性は、乾燥収縮やクリープならびに荷重作用により変化し、一般には時間と荷重の関数となる。このため、コンクリート部材に生じている温度応力も乾燥収縮やクリープ等の現象（時間依存性）と外力（死荷重や活荷重）を考慮して算定されるべきものである。

土木学会の標準示方書（平成 3 年度版）では、コンクリート構造物が季節変化による温度変化を受け、内部に温度応力が生ずる場合、これを算定する温度変化の条件と乾燥収縮から不静定力を算出する条件は示されているが、コンクリート部材の剛性とくにクリープを考慮した剛性評価法をどのようにするかといった観点については曖昧であり記述はない。このため、温度変化を受けるコンクリート構造物に生ずる温度応力を乾燥収縮やクリープの影響まで考慮して合理的に算定する手法の開発が必要である。

そこで本研究では、鉄筋コンクリート（以後 RC と略記）ラーメン部材に限定して、温度変化とクリープ・乾燥収縮の影響を受ける RC ラーメン部材の応力・変形挙動を実験的、解析的に検討す

るとともに、新幹線用3径間および10径間RCラーメン高架橋の建設時に各種のセンサーを埋設して計測し、その結果を検討するとともに解析的に評価し、温度変化を受けるRCラーメン構造の実挙動を明らかにし、設計に対する提言を行うものである。

第2章 温度変化と乾燥収縮・クリープを受けるラーメン部材の応力・変形挙動の実験的検討

この章では、RC構造物の温度応力の緩和性状を明らかにすることを目的に、RCラーメン構造に実験的に温度応力を発生させ、乾燥収縮とクリープによる断面力の変化やひずみの変化を計測できる実験法について検討し、これらより次の成果を得ている。

- 1) 構造力学的な検討により、温度応力を受ける不静定RCラーメン構造の断面力分布と等価な断面力分布を持つ静的ラーメン構造を考案した。これにより、不静定RCラーメン構造に生じているある断面の断面力が静定ラーメン構造に付加した荷重計により測定できることが構造力学的に示された。
- 2) 不静定RCラーメン試験体と静定ラーメン試験体に温度負荷を与えて温度応力を発生させ、乾燥収縮やクリープに伴うひずみの変化を測定した結果、両試験体は同じ位置で同等のひずみ履歴を示すことが明らかにされた。したがって、ここで用いた手法により、RCラーメン構造に生じている温度応力が乾燥収縮やクリープの影響によって応力緩和される挙動が実験的に測定できることが明らかにされた。
- 3) コンクリート乾燥収縮量は90年CEB提案式と大変よく一致し、この提案式が実用上十分な精度をもっていることが確認できた。

第3章 クリープと乾燥収縮を受けるラーメン部材の応力・変形挙動の解析的検討

この章では、温度変化を受けるRCラーメン部材の乾燥収縮・クリープ解析を行うために粘弾性理論に基づく乾燥収縮・クリープ解析法を開発し、第2章で行った実験をシミュレーションし解析法の妥当性を検討し、次の成果を得ている。

- 1) 粘弾性理論に基づく乾燥収縮・クリープ解析法を開発した。この解析法では温度変化と乾燥収縮による体積変化を温度荷重に換算するものである。また、クリープを粘弾性モデルで表現できる現象と考えている。
- 2) この解析法を用いて、温度変化を受けるRCラーメン構造の解析を行った結果、実験値と解析値はよく近似し、本解析法により温度変化を受けるRCラーメン部材の乾燥収縮・クリープ挙動が十分な精度で予測できることが確認された。

第4章 新幹線ラーメン高架橋の長期変形挙動

この章では、3径間および10径間RCラーメン高架橋の、コンクリートの温度変化やひずみ・鉄筋応力の変化を長期的に計測し、連続RCラーメン高架橋の外部環境の変化にともなう温度応力

の径時変化や乾燥収縮とクリープの影響を検討し、次の成果を得ている。

- 1) 上層梁と地中梁のコンクリート温度差は年間最大で26℃となり、この設計に用いた±10℃の温度変化は、温度応力を過小評価すると考えられた。
- 2) 3径間RCラーメン高架橋のコンクリートひずみ計により求めた乾燥収縮ひずみは建設後5年で 310×10^{-6} で、一方、10径間RCラーメン高架橋の鉄筋計より求めた柱部材の乾燥収縮とクリープに起因するとみられるひずみは、建設後5年で、 $280 \sim 450 \times 10^{-6}$ 程度であった。これらは標準示方書より求めた概算とほぼ等しい値となった。
- 3) 10径間RCラーメン高架橋の柱では、乾燥収縮とクリープによる鉄筋応力の増分も建設後5年ではほぼ収束し、鉄筋には $600 \sim 1000 \text{ kgf/cm}^2$ の圧縮応力が作用していることが明らかにされた。
- 4) 温度変化による鉄筋応力の変動幅は、建設後5年程度までは増加し、最大値は10径間RCラーメン高架橋の一番外側の柱の引張鉄筋に生じ、鉄筋応力で 700 kgf/cm^2 （両振幅）であった。その後温度応力の変動振幅は一定の値に収束することが示された。
- 5) 各部材の中で、温度応力の影響を大きく受けるのは柱の鉄筋であることが明らかにされた。したがって、RCラーメン高架橋を設計する際には、柱の温度応力を充分検討すべきことが示された。
- 6) 柱の鉄筋は温度変化や乾燥収縮の影響ですでに 1000 kgf/cm^2 程度の圧縮応力を受けており、地震時の安全性の検討の時、荷重～変形曲線の設定に注意が必要である。

第5章 新幹線ラーメン高架橋の長期変形挙動の解析と設計に対する提言

この章では、平面骨組解析にもとづく計算プログラムを用いて、10径間RCラーメン高架橋の柱の鉄筋応力に着目して乾燥収縮とクリープならびにコンクリート温度の年間変動による温度応力についての検討を行い、次の成果を得ている。

- 1) 乾燥収縮とクリープによる柱部材の鉄筋応力を全断面有効として求めると圧縮鉄筋の応力は実測値より $-200 \sim -500 \text{ kgf/cm}^2$ 程度大きな値を示したが、引張鉄筋の応力は実測値とほぼ一致した。解析的検討より、柱部材の曲げ剛性変動量の鉄筋応力への影響がかなり小さいことから考えると、鉄筋応力に及ぼす影響は乾燥収縮量が最も大きくなり、実際の乾燥収縮量を精度良く実測する必要性が提起された。
- 2) 年間気温変動に対する柱部材の温度応力を鉄筋応力に着目し、全断面有効として解析した結果、解析値と実測値はほぼ一致し、実構造物の柱の鉄筋応力をよい精度で予測できることが示された。したがって、温度応力を求める際も、曲げ剛性をそれほど低減しないで求めるべきであることが明らかにされた。
- 3) コンクリートの乾燥収縮や温度変化によって生ずる鉄筋応力を求める際の、ひびわれ発生による部材の剛性低下の影響は、柱上下端部の剛性を全断面有効な場合の70%程度に低減した場合でも曲げモーメントは85%程度にしか低減されず、その影響は小さいことが判明した。
- 4) RCラーメン高架橋の設計に関する提言

本研究により得られた RC ラーメン高架橋の設計的に考慮すべき事項は以下の通りである。

- ① 設計で温度応力を算定する際に用いる温度変化量は、実構造物に発生する上層梁と地中梁の部材中心におけるコンクリートの温度差とすべきである。また、実際のコンクリート温度は施工の時期によって定まるため、構造物の施工完了時期についても考慮すべきである。
- ② RC ラーメン高架橋の設計に用いる乾燥収縮量 250×10^{-6} は若干低減した値を用いた方が適当である。
- ③ ラーメン高架橋の温度応力解析は、有限要素法による骨組み構造の温度解析プログラムを用いてよい。
- ④ 断面力から鉄筋応力を求める場合、全断面有効として求めるのがよい。
- ⑤ 柱の鉄筋は温度変化や乾燥収縮の影響ですでに 1000kgf/cm^2 程度の圧縮応力を受けており、地震時安全性を検討する時、部材の荷重～変形曲線の設定に注意が必要である。

第 6 章 結 論

この章では、本研究で得られた成果をまとめて示している。

審 査 結 果 の 要 旨

鉄筋コンクリート（RC）ラーメン構造の部材間の温度差に起因する不静定断面力は、コンクリートのクリープ・乾燥収縮・セメントの水和反応による硬化の進行などの影響を受けるので、実測することが難しく、そのうえ気象・材料・構造寸法などの多くの因子によって複雑に相違し、定量的に把握することが困難であった。

本論文は、不静定 RC ラーメン構造の時間依存挙動について、粘弾性理論により解析を行うとともに、独自に考案した装置によって断面力を実測して、力学モデルを構成し、実際の RC ラーメン構造物の時間依存挙動を長期間にわたり測定して、その妥当性を検証し、合理的な設計の基礎を提示したもので、全編 6 章よりなる。

第 1 章は、序論で、既往の研究の問題点と研究の目的を述べている。

第 2 章は、特別に考案した装置によって、長方形 RC ラーメン部材に周期的に与えた温度変化による断面力を、コンクリートのクリープと乾燥収縮の影響下で直接測定し、温度応力がコンクリートのクリープと乾燥収縮によって影響を受け、とくにクリープによって温度変化振幅の $\frac{1}{2}$ の幅で温度の上昇・降下を受けるのと同等の状態にまで緩和する現象を実証的に示した。これは、全く前例を見ない独創的な成果である。

第 3 章は、温度変化と乾燥収縮の荷重作用がコンクリートのクリープによって緩和する現象を解析する粘弾性理論に基づくモデルを構成して、上で述べた RC ラーメン部材の実測結果を検討し、こま方法によって温度変化を受ける RC ラーメン構造の時間依存挙動を精度よく予測できることを示した。これは重要な成果である。

第 4 章は、実際の 10 径間連続 RC ラーメン高架橋について、コンクリートおよび鉄筋のひずみと温度変化を数年にわたり継続的に測定した結果から、上層梁・地中梁の温度差の最大値が 26℃ に達し、現行の基準値は過小であること、柱の鉄筋はコンクリートのクリープと乾燥収縮のために常時 1000kgf/cm² に達する圧縮応力を受けていること、高架橋の時間依存挙動は、上で述べたモデルによって精度よく評価できることなどを明らかにした。

第 5 章は、これらの研究成果に基づいて、鉄筋の応力は、コンクリートの乾燥収縮の影響を大きく受けること、断面力の計算は、コンクリートにひびわれが生じていても部材の全断面を有効として、ほぼ妥当な結果が得られること、温度変化による断面力は、温度の変化幅の $\frac{1}{2}$ の上昇と降下を受けるとして求めてよいとしても、構造物建設直後の状態では、実際に受ける温度変化の影響を吟味しなければならないこと、など、RC ラーメン高架橋の設計において考慮すべき重要な事項と設計の実際的方法を示している。

第 6 章は結論である。

以上要するに、本論文は、周期的な温度変化を受ける RC ラーメン構造の断面力が、コンクリートのクリープ・乾燥収縮によって影響を受ける現象を理論的・実証的に検討して、RC ラーメン構造の時間依存挙動を明らかにし、設計に考慮すべき事項と実際的方法を提示したもので、コンクリート構造工学と土木工学の発展に寄与するところが少なくない。よって博士（工学）の学位論文として合格と認める。