

自己評価報告書

平成 23 年 4 月 15 日現在

機関番号：18001
研究種目：若手研究 (B)
研究期間：2008～2011
課題番号：20760378
研究課題名 (和文) 長寿命建築物のための大型 RC 柱の自然暴露試験と耐久・耐震性能に関する研究
研究課題名 (英文) Experimental Investigations on Durability and Seismic Performance of Real-scale RC Columns Exposed to Marine Environment
研究代表者
中田 幸造 (NAKADA KOZO)
琉球大学・工学部・助教
研究者番号：80347129

研究分野：建築構造学

科研費の分科・細目：建築学，建築構造・材料

キーワード：耐久性能，耐震性能，大型 RC 柱，自然暴露，塩害，フライアッシュ，長寿命

1. 研究計画の概要

沖縄県は高温・高湿の亜熱帯環境という厳しい腐食環境下にあり，加えて島嶼環境という地理的条件および台風などによる飛来塩分により RC 造建物は塩害を受け易い。また，1972 年の沖縄県の日本復帰前後には十分に洗浄されていない海砂が多量に使用されたため，鉄筋腐食に伴う RC 造建物の塩害が懸念されている。上記の懸念を背景に，これまで琉球大学工学部山川研究室では塩害を模擬した電食，および沖縄の西海岸で自然暴露した縮小試験体を用いて塩害により損傷を受けた RC 柱の耐久性能と耐震性能の関係を解明することに注力してきた。しかしながら，縮小試験体ではかぶり厚さや，主筋や帯筋の鉄筋サイズも縮小されてしまうため，RC 柱の耐久性能と耐震性能を追求する場合には実際の RC 柱に近いかぶり厚さや鉄筋サイズが必要であると考えられてきた。

他方，地球環境の維持・保全のため，持続可能な循環型社会の形成に向けて廃棄物のリサイクルが進んでおり，沖縄県内の火力発電所で産出される石炭灰（フライアッシュ）を有効活用した RC 構造物の施工報告も行われている。

このような中であって，実規模相当の RC 柱を使用して自然暴露を行い，材料および構造的に耐久性能と耐震性能を同時に追求した研究は見当たらない。

本研究では実規模相当の RC 柱 (400×400×1600mm) の自然暴露試験体を用いて以下を解明することを目的とした。(1) 自然暴露期間，コンクリート強度，塩分浸透性状の関係を明らかにし，併せてフライアッシュ混入の耐久性に対する有効性を示す。(2) 耐久性調査と同時に，自然暴露大型 RC 柱の水平加

力実験を行い，耐久性能と耐震性能の関係を明らかにする。

2. 研究の進捗状況

本研究では実規模相当の RC 柱における耐久性能と耐震性能を照査するため，(1) 1 辺が 400mm の正方形断面で柱高さ 1600mm (せん断スパン比 2.0) の大型 RC 柱試験体，(2) 材料試験用のモニター試験体 (400×400×1000mm)，(3) コンクリートシリンダー (100φ×200mm) を製作した。柱試験体の主筋は 8-D19 (主筋比 1.44%)，帯筋は柱端部が D10-@60 (帯筋比 0.6%)，中央部が D10-@90 (帯筋比 0.4%) である。柱試験体の製作数は，呼び強度が異なる 3 つのシリーズ (L, N, F シリーズ) をそれぞれ 4 体，計 12 体であり，モニター試験体も同様である。ここで，L シリーズは呼び強度が 13.5MPa，N シリーズは 21MPa，F シリーズは呼び強度が 21MPa であるが，フライアッシュが外割で混合されている。試験体を打設後，RC 柱とモニター試験体の各シリーズ 1 体は基準試験体として琉球大学工学部実験棟で養生し，これら以外は沖縄の西海岸にある暴露試験場で暴露試験を行った。なお，半年に 1 回外観調査を行っている。

モニター試験体からはコンクリートコアを採取して塩分浸透量を測定し，配筋された鉄筋をはつり出して腐食レベルを判定した後引張試験により鉄筋の力学性能の低下を調査する。

RC 柱試験体は軸力比 0.2 の一定鉛直荷重の下で繰返し水平加力実験を行う。

含有塩化物イオン量の調査の結果，フライアッシュを混入した F シリーズでは含有塩化物イオン量は N と L シリーズより少なく，

かつ3シリーズとも暴露期間が3年より5年の方が含有塩化物イオン量がわずかに増加した。腐食鉄筋の質量減少率は、NとLシリーズの主筋と帯筋、及びFシリーズの帯筋では暴露期間の増加に伴い質量減少率が増加する傾向にあった。

暴露 RC 柱試験体の水平加力実験の結果、暴露を行っていない L, N, F シリーズの基準試験体は全て曲げ降伏した。3年暴露試験体では全てのシリーズで曲げ降伏し、耐力低下は緩やかであった。ただし、3年暴露の N シリーズのみ負側部材角 5%の加力時において柱頭でせん断破壊を起こした。5年暴露試験体では全てのシリーズで曲げ降伏し、耐力低下は緩やかであったが、L シリーズでは正側部材角 5%の加力時において柱頭の帯筋が3本破断すると共にせん断破壊を起こした。

以上より、海岸での暴露によりコンクリート表面にひび割れが生じ、鉄筋が激しく腐食している RC 柱であっても、現時点では塩害が RC 柱の耐震性能（最大耐力と靱性）に及ぼす影響は少なく、耐久性能の低下の方が大きいと分かった。

なお、2010年6月の外観調査時点で RC 柱試験体の腐食はかなり進行しているように観察されたため、同年9月27日に再度外観調査を行い、急遽11月中旬から下旬に水平加力実験とモニター試験体の塩分浸透量調査、鉄筋の力学性能調査を行った。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

(理由)

本研究は暴露期間と外観調査から実験時期を判断している。本研究では塩害による鉄筋（帯筋）腐食により、RC 柱試験体は曲げ破壊からせん断破壊に移行すると想定していた。しかし、RC 柱は全て曲げ降伏しており、せん断破壊モードに移行した試験体はないが、2010年11月に水平加力実験を行った暴露期間が6年の試験体では、曲げ降伏後の早期にせん断破壊を起こした試験体もある。試験体の外観調査では RC 柱表面のひび割れが多く、鉄筋は激しく腐食している状況にあっても RC 柱はせん断破壊に至っていない。

本研究では自然暴露大型 RC 柱試験体を用いた加力実験により、耐震性能の低下より耐久性能の低下の方が大きいことを明らかにしたことに意義がある。平成23年度はこれまでに得られた全データを用いて塩害損傷が RC 柱の耐久性能と耐震性能に与える影響を検証する。

4. 今後の研究の推進方策

今後実験データを追加し、以下についてまとめしていく。

(1) 含有塩化物イオン浸透量の推移

- (2) 鉄筋の腐食レベルや質量減少率の推移
- (3) 鉄筋の降伏強度や破断伸び率の推移
- (4) RC 柱試験体の最大耐力や靱性の推移
- (5) せん断余裕度の推移
- (6) 累積エネルギー吸収量の推移

上記の実験データはこれまで良好に取得されている。しかし、RC 柱試験体の主筋には耐久性のあるひずみゲージを貼付していたものの、自然暴露試験で不具合が多発しており、データとして参照できなかった。ただし、破壊モードの判定には不都合は生じていない。本課題終了後、再度 RC 柱の自然暴露試験を行う機会がある場合には、この点は検討課題であると考えられる。

5. 代表的な研究成果

[雑誌論文] (計3件)

- ① 船木裕之, 中田幸造, 山川哲雄, 山田義智: 沖縄の海岸で5年間の暴露期間を経たフライアッシュ混合大型 RC 柱の水平加力実験, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol. 32, No. 1, pp. 827-832, 2010
- ② Hiroyuki FUNAKI, Tetsuo YAMAKAWA, Koza NAKADA and Yoshitomo YAMADA: Experimental Study on RC Columns Damaged under Exposure to the Marine Environment in Okinawa, the 9th US National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering, 査読有, Toronto, Canada, Paper ID 906, 2010
- ③ 船木裕之, 山川哲雄, 山田義智, 中田幸造: 沖縄で自然暴露により損傷した実大 RC 柱の正負繰り返し水平加力実験, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol. 30, No. 3, 2008

[学会発表] (計2件)

- ① 船木裕之, 中田幸造, 山川哲雄, 山田義智: 沖縄の海岸で5年間暴露した大型 RC 柱に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2010年9月9日, 富山大学
- ② 船木裕之, 山川哲雄, 山田義智, 中田幸造: 沖縄の海岸で3年間の自然暴露により損傷した RC 柱の実験的研究, 日本建築学会学術講演梗概集, 2008年9月20日, 広島大学