

韓国の既存鉄筋コンクリート造建築物の構造特性に関する事例分析

Investigation on Structural Characteristics of Existing R/C Buildings in Korea

崔 琥*・中埜 良昭*・真田 靖士*

Ho CHOI, Yoshiaki NAKANO, and Yasushi SANADA

1. はじめに

韓国は今まで地震被害の経験が少ない国として認識されてきたが、気象庁の統計資料及び歴史地震に関する研究結果によると、各種の建築物に被害を与える程度の地震が発生する可能性があり、近い将来起こり得る大規模の地震に対して適切な対策が必要であると考えられる。特に最近世界各国で発生した大規模な地震災害、例えば1995年阪神・淡路大震災、1999年トルコ、台湾集集地震などは、韓国における震災対策の重要性をより大きく認識させた。

一方、韓国では1988年から一定規模以上の建物に対する耐震設計が義務化されたが、既存鉄筋コンクリート造（以下、RC造）建物の耐震性能の評価手法に関する研究は十分なされていないのが現状である。そこで、本報では、韓国の実状に適合したRC造建物の耐震診断手法の提案に必要な基礎資料を得るため、韓国の既存RC造学校建物14棟を対象にその構造特性を日本の建物の構造特性と比較・検討する。また、日本の耐震診断法との関係を示すとともに、韓国の建物の耐震診断法を確率するための課題を明らかにする。

2. 対象建物の概要

対象建物は韓国で1988年以前に建設されたRC造3～5階建ての典型的な学校建物14棟で、いずれも耐震設計はなされていない。表1にそれらの概要及び設計時に用いられた材料の強度を示す。代表的な柱断面は40cm×40cmで、せん断補強筋の間隔も大部分が30cm以上である。図1は対象建物の1階の桁行及び梁間方向の柱率及び壁率を示したものであるが、対象建物の構造形式は純ラーメン構造あるいはそれに近い構造であることがわかる。

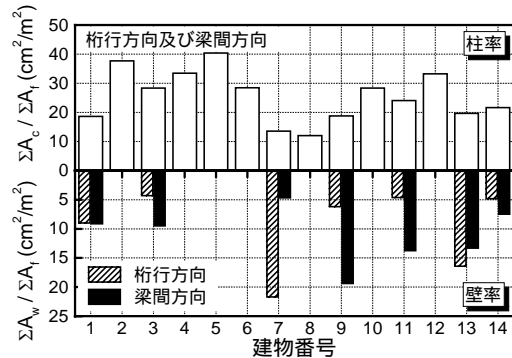


図1. 対象建物の1階の柱率及び壁率

表1. 対象建物の概要

建物	階数	スパン(m)		y ($\frac{y}{w_y}$) (kg/cm ²)	F_c (kg/cm ²)	代表的な柱断面 (主筋、Hoop), (cm)
		桁行方向	梁間方向			
1	3	7@4.5	2.5+7.5	2400 (2400)	150	40×40 (8-D19, D10@28)
2	3	15@4.5	2.5+7.5	2400 (2400)	180	40×40 (8-D19, D10@33)
3	3	11@6.0	6.3+6.6+6.6	4000 (2400)	210	40×50 (8-D22, D10@30)
4	3	7@4.5	6.0+6.0+6.0	4000 (2400)	210	40×40 (8-D22, D10@30)
5	4	14@4.5	2.5+7.5	2400 (2400)	150	45×40 (8-D19, D10@25)
6	4	12@4.5	2.5+7.5	2400 (2400)	180	40×40 (8-D19, D10@33)
7	4	14@4.5	2.5+7.5	2400 (2400)	180	40×40 (8-D19, D10@34)
8	4	8.0+10@4.0	4.2+2.4+8.1	4000 (2400)	210	40×40 (8-D19, D10@30)
9	4	19@4.5	2.4+3.6+3.9	4000 (2400)	210	40×40 (8-D19, D10@33)
10	4	8@4.4	9.9	4000 (2400)	210	40×40 (16-D22, D10@30)
11	4	13@4.5	2.5+7.5	2400 (2400)	180	40×40 (8-D19, D10@40)
12	5	22@4.4	4.0+9.9	4000 (2400)	210	50×50 (16-D22, D10@30)
13	5	11@8.8	7.5+7.5+7.5+2.7	4000 (2400)	210	40×50 (14-D25, D10@25)
14	5	10@8.1	6.0+3.3+8.4	4000 (2400)	240	50×50 (12-D25, D10@30)

y: 主筋の降伏強度、wy: 帯筋の降伏強度、Fc: コンクリート設計基準強度(いずれも設計強度)

* 東京大学生産技術研究所 人間・社会部門

3. 柱の挙動に影響する構造因子

前章に示したように対象建物の構造形式は純ラーメン構造あるいはそれに近い構造であることから、本章では主に柱の構造因子に着目して分析する。

鉄筋コンクリート柱の耐力及び塑性変形能力とくに関係が深いと考えられる構造因子について、設計資料から定量的に調べ得るものとして、ここではコンクリート設計基準強度、主筋及びせん断補強筋の降伏強度、引張鉄筋比、軸方向応力度、せん断補強筋の間隔及びせん断補強筋比、シアパン比及び柱のせん断補強筋間隔と断面サイズとの関係に着目して検討する。

3.1 構成材料

図2に対象建物のコンクリート設計基準強度の分布を日本の建物と比較して示す。比較対象とした日本の建物データは、耐震診断の結果、補強が必要であると判定された静岡県内の全160棟の2～4階建RC造公共建物（いずれも1981年以前の設計で、大半が学校建物）である^[1]。図3に日本の対象建物の設計年度およびコンクリート設計基準強度の分布を示す。なお、160棟中3棟はコンクリート設計基準強度及び設計年度が不明であった。

図2より、韓国の建物14棟のコンクリート設計基準強度の分布は150～240kg/cm²の範囲内にあるが、その80%以上が180あるいは210kg/cm²を使用しており、主に1981年のいわゆる新耐震設計法制定以前に設計された日本の建物とほぼ同じであることがわかる。

図4に韓国の対象建物の主筋及びせん断補強筋の分布を示す。対象建物14棟の主筋及びせん断補強筋はすべて異形棒鋼（SD24及びSD40）が使用されている。

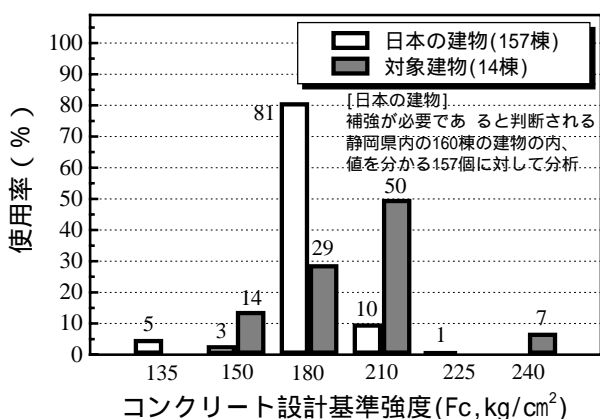


図2. コンクリートの設計基準強度

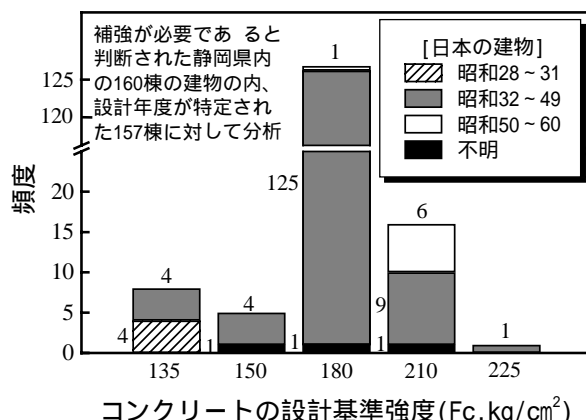


図3. 日本の対象建物の設計年度によるコンクリートの設計基準強度

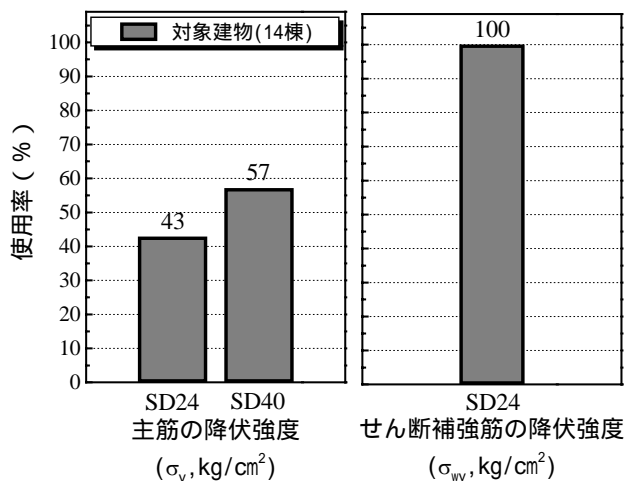


図4. 主筋及びせん断補強筋の使用状況

3.2 曲げに関する構造因子

(1) 引張鉄筋比

図5には、対象建物14棟の1階について、全532本の柱（桁行方向及び梁間方向を合わせて全1064個）を対象に引張鉄筋比の分布を示す。同図には、文献[2]に示された日本国内で1981年以降に建設された既存RC造建物の建物データの調査結果から、1階の全ての柱データが存在する36棟、全1102本の柱の引張鉄筋比分布を比較して示した。韓国の建物は日本の建物に比べて若干大きな値に分布しているが、この原因は韓国の建物の柱断面サイズが日本に比べ小さいためである。日本の柱断面サイズは60～70cm程度が多いのに対して、韓国の建物では表1に示したように40cm及び50cmがほとんどであった。

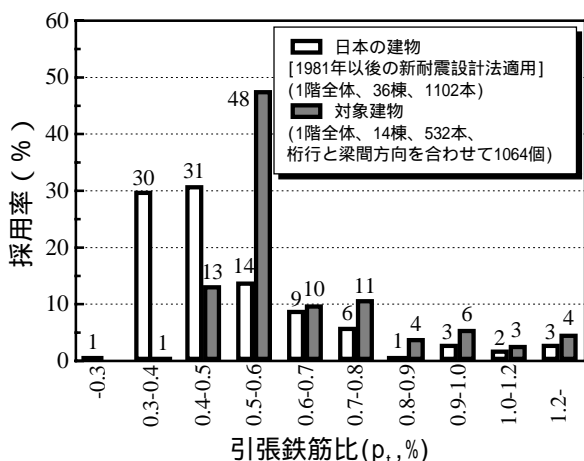


図5. 引張鉄筋比の分布

(2) 軸方向応力度

図6に図5と同様の柱を対象として軸方向応力度の分布を示す。対象建物の軸方向応力度の単純平均値は42kg/cm²であったが、10~60kg/cm²の範囲に比較的幅広く分布する結果となった。

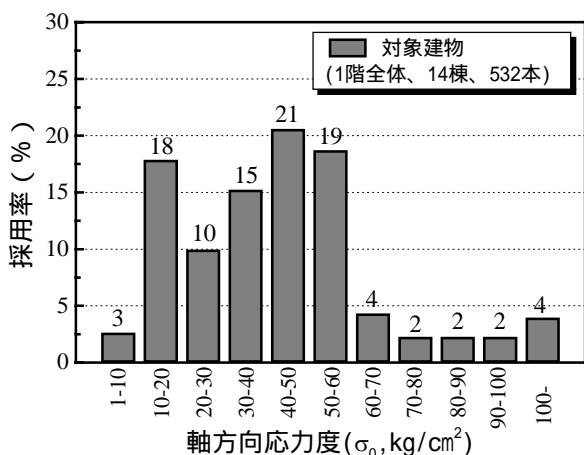


図6. 柱の軸方向応力度の分布

3.3 せん断に関する構造因子

(1) せん断補強筋の間隔及びせん断補強筋比

図7に図5と同様の柱を対象としてせん断補強筋の間隔及びせん断補強筋比の分布を示す。周知のように、日本では1968年十勝沖地震により既存RC造建物、とくに中・低層の学校建物が短柱化した柱のせん断破壊により甚大な被害を受けたことを背景として、1971年にRC柱のせん断補強筋の間隔をそれまでの30cmから端部で10cm、中央部で15cm以下に変更する基準法施行令の改定がなされた。従って、1971年以前の日本のRC造建物のせん断補強筋間隔は大部分

がおよそ30cm程度と考えられるが、図7に示すように、対象建物のせん断補強筋の間隔は半数が30cm程度、すべてが20cm以上であることから、十勝沖地震と同程度の地震が発生した場合、日本と同様に深刻な被害を受けることが予想される。また、同改定以後日本ではせん断補強筋比の下限値を0.2%に規制^[3]しているが、対象建物のせん断補強筋比はすべて0.2%以下であることから、主筋やコアコンクリートの拘束効果も期待できず、せん断に対して脆弱であると考えられる。

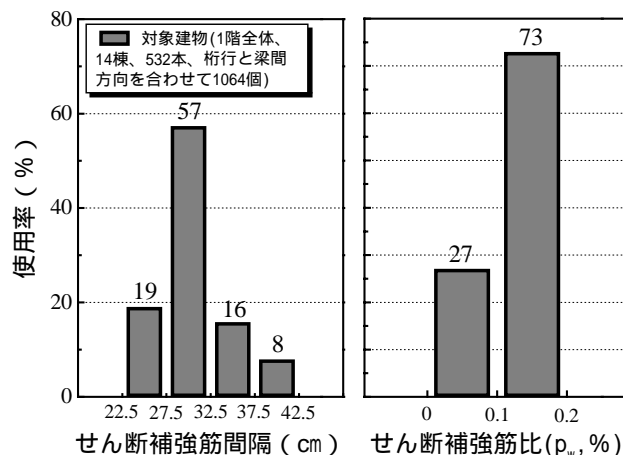


図7. せん断補強筋の間隔及びせん断補強筋比の分布

(2) シアスパン比

図8に、図5と同様の柱を対象としてシアスパン比の分布を示す。同図には図5と同様に日本の建物の分布をともに示した(ただし、柱内のり長さを調べ得るものに限る)。データの80%程度が3.0~4.0に分布しており、多くが独立柱であることがわかる。従来から腰壁、垂壁が多用される日本に比べて大きな値に分布する結果となった。

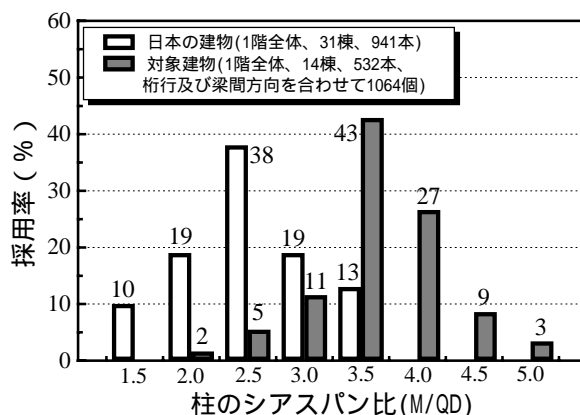


図8. 柱のシアスパン比の分布

(3) 柱のせん断補強筋間隔と断面サイズとの関係

図9に図5と同様の柱を対象としてその幅あるいはせい
のいずれか小さい方の値とせん断補強筋間隔との関係を示
す。部材にせん断ひび割れが生じた場合、そこにせん断補
強筋が配されていないと一挙に破壊する可能性が高い。例
えば、材軸に対するせん断ひび割れの角度として45度程度
を想定すると、せん断補強筋の間隔に対する部材寸法の比
が1を上回るとこの危険性が高くなると考えられる。対象
建物の場合、この寸法比が1を上回るのは1%程度であるが、
0.7以上が55%以上であり、せん断破壊する危険性は極め
て高いと考えられる。

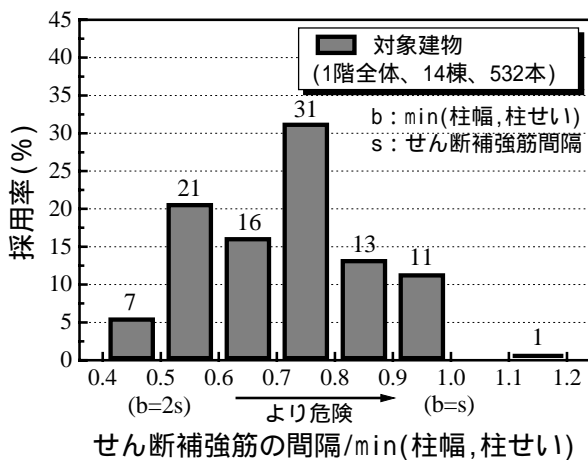


図9. 柱のせん断補強筋と断面サイズとの関係

3.4 日本の耐震診断法との関係

以上、韓国の典型的な学校建物14棟の主な構造因子を
整理した。得られた知見と日本で一般に用いられる耐震診
断法との関係を検討し、韓国の実情に即した既存RC建物の
耐震性能評価手法を確立するための課題についてまとめる。

日本で一般に用いられる耐震診断法^[4]では、一般的な
柱断面を表2のように仮定して断面の平面保持仮定に基づ
く曲げ耐力式から導かれた終局時平均せん断応力度を用い
て柱の曲げ強度を評価する。表2の各因子に着目すると、
韓国の建物はコンクリート設計基準強度、主筋及びせん断
補強筋の終局強度、せん断補強筋比が日本の建物とほぼ同
等であるが、引張鉄筋比、平均軸方向応力度が相対的に大
きいため、日本の基準と同様に終局時平均せん断応力度が
評価された場合、韓国の建物の応力度はやや大きくなると
考えられる。しかしながら、図5に示したように、韓国の
建物は柱断面が日本と比べ小さく、引張鉄筋比が大きいた
め、附着性能が大きく劣るおそれがあり、終局時まで耐力、
靱性を確保できることを確認する必要がある。

表2. 柱断面を決定する諸構造因子

諸構造因子	日本の耐震 診断法 ^[4]	対象建物の 代表値
p_t (引張鉄筋比)	0.4 %	0.6 %
F_c (コンクリート設計基準強度)	200 kg/cm ²	200 kg/cm ²
p_w (せん断補強筋比)	0.1 %	0.1 %
σ_0 (平均軸方向応力度, N/bD)	20 kg/cm ²	40 kg/cm ²
σ_y (主筋の降伏強度)	3000 kg/cm ²	3000 kg/cm ²
σ_{wy} (せん断補強筋の降伏強度)	3000 kg/cm ²	2400 kg/cm ²

また、韓国の建物ではせん断補強筋の間隔が粗く、結
果、補強筋比が小さいため、せん断耐力が小さい場合が多
い。ところが、一方でシアスパン比が大きいため、せん断
ではなく、曲げ強度に支配される柱が多数存在する可能性
がある。一般に、曲げ降伏する柱には強度だけでなく、靱
性を期待することができ、日本の耐震診断法でも第2次診
断以降ではその概念が採用されている。よって、韓国の建
物の場合にも同様な手法を部材あるいは建物の耐震性能の
評価に用いることが考えられるが、韓国の建物のように補
強筋の間隔が大きい場合には、主筋の座屈やコンクリートの
拘束効果が期待できないことなどから、靱性能の評価に
は十分慎重になる必要があると考えられる。

4. まとめ

本報では、韓国の典型的な学校建物14棟の主な構造因
子を整理した。その結果は次の通りである。

韓国の建物はコンクリート設計基準強度、主筋及びせん
断補強筋種および強度、せん断補強筋比は日本の建物とほ
ぼ同等であるが、柱断面が日本と比べ一般に小さいため、
引張鉄筋比、平均軸方向応力度がやや大きくなった。

韓国の建物ではせん断補強筋の間隔が粗く、補強筋比が
小さいものの、シアスパン比が大きいため、曲げ降伏型柱
が多数存在する可能性がある。しがしながら、韓国の建物
のように補強筋の間隔が大きい場合には、主筋の座屈やコ
ンクリートの拘束効果が期待できないことなどから、靱性
については十分慎重に評価する必要があると考えられる。

参考文献

- [1]中埜良昭「信頼性理論による鉄筋コンクリート造建築物の耐震安全性に関する研究」東京大学博士学位論文、1988年、
- [2]日本建築学会「鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料」pp.62-69、昭和62年9月、
- [3]日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」1988年改訂、
- [4](財)日本建築防災協会「既存コンクリート造建築物の耐震診断基準・付解説」1977年(1990年改訂)