

海外調査報告：

第17回日米+NZ構造設計協議会参加報告



EHS&S 研究センター上級研究員 兼 構造コンサルティング部担当部長 中野 時衛

Keyword：日米構造設計協議会，ニュージーランド，耐震設計，改修設計，構造設計法，レジリエンス

1. はじめに

2018年11月にニュージーランド南島クィーンズタウンで開催された、第17回日米+NZ構造設計協議会の様子について報告する。

2. 日米構造設計協議会(ATC-15シリーズ)の歴史

1984年3月から米国のATC (Applied Technology Council) と、一般社団法人日本建築構造技術者協会 (JSCA: Japan Structural Consultants Association) によって、構造設計と施工の改善に必要な情報の迅速な交換のために設立されたATC-15シリーズは、日米構造設計協議会 (US-Japan Workshop) と呼ばれている。この日米

構造設計協議会は、日米および太平洋周辺国の主要な設計事務所と学識経験者によって構成されており、設立以来35年が経過し、原則2年に1回の構造設計協議会は日米双方で開催され、2016年6月までに16回を数えている。これまでの日米構造設計協議会の開催地、提出論文数および参加国・参加者数を表1に示す¹⁾。

これまで16回の日米構造設計協議会で発表された論文は423編にのぼり、ほとんどが新築建物の構造設計と耐震設計、既存建物の耐震診断と耐震改修、被災建物の修理・改修に関する論文であり、それ以外のテーマ、例えば教育、資格などを扱っている論文もある。

3. 第17回日米構造設計協議会の開催地、参加者数など

第17回日米構造設計協議会は、2018年11月12～14日の

表1 これまでの日米構造設計協議会の開催地、提出論文数および参加国・参加者数

開催地	論文数	参加者数			
		日本	米国	その他の国	合計
第1回 (1984年) ハワイ	15	10	13		23
第2回 (1986年) サンフランシスコ	23	17	23		40
第3回 (1988年) 東京	21	23*	16	中国 (1), ニュージーランド (1)	41
第4回 (1990年) ハワイ	22	22	22	ペルー (1)	45
第5回 (1992年) サンディエゴ	18	18	18	中国 (1)	37
第6回 (1994年) ビクトリア	32	29	29	カナダ (26), インドネシア (3), 台湾 (1)	88
第7回 (1996年) 神戸	26	14	17	チリ (1), メキシコ (3), 台湾 (5)	40
第8回 (1998年) ハワイ	17	12	13		25
第9回 (2000年) ビクトリア	22	19	16	カナダ (16), 中国 (1), インドネシア (1), スコットランド (1)	54
第10回 (2003年) ハワイ	24	15	19		34
第11回 (2005年) 神戸	38	46	12	韓国 (1)	59
第12回 (2007年) ハワイ	26	22	15		37
第13回 (2010年) ハワイ	31	18	18		36
第14回 (2012年) ハワイ	32	17	14	ニュージーランド (2)	33
第15回 (2014年) ハワイ	31	9	23	ハイチ (1)	33
第16回 (2016年) 奈良	45	25	21	ニュージーランド (17)	63
合計	423	316	289	83	688

* 東京大会では、ほかに200名の建築デザイナーや研究者が一般講演会の2日間に参加



写真1 キーンズタウンの景観

日程で、ニュージーランドのキーンズタウンで開催された。キーンズタウンは南島の風光明媚な観光地で、荘厳にそびえる山々に囲まれ、美しくきらめく氷河湖ワカティプ湖畔に「ビクトリア女王にふさわしい」という名前をもつ人口15,000人の街である。南緯45°にあるため、我々が訪問した11月中旬は夜の9時半頃まで明るかった。

今回は前回の第16回日米構造設計協議会に特別参加したニュージーランドが正式メンバーに加わり、ホスト国としてワークショップを運営した。会議の名前も第17回日米+NZ構造設計協議会としている。

参加者は、日本23名、米国18名およびニュージーランド21名の計62名である。メンバーは設計事務所、官庁および大学であり、活発な議論が行われた。テーマは「構造エンジニアリングとレジリエンスの改善」であり、論文発表は5つのセッションに分かれ、日本19編、米国14編、ニュージーランド15編で、各セッションごとの討議と、最後に全体のまとめの討議が行われた。

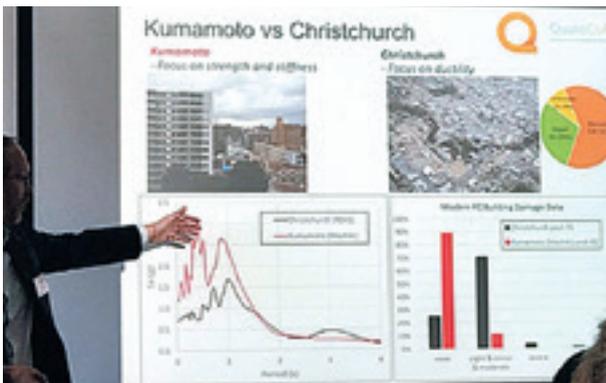


写真2 ワークショップの様子

4. 各セッションの主要な話題

- セッション1：繰り返し襲う大地震に対する革新的な構造設計

長周期地震に対する巨大なTMDを超高層ビルに用いた事例（日本）、病院建築についての各国の免震構造導入の事例紹介（米国）。

- セッション2：リスクの確認と削減

ニュージーランドの津波対策（ニュージーランド）、非構造部材の耐震対策などの紹介（ニュージーランド）。

- セッション3：レジリエンスと性能に基づく工学の進歩と発展

レジリエンスの定義が示されている。今回のワークショップのテーマでもある。図1でこの青色の面積が小さいほどレジリエンスがあると評価される（ニュージーランド）。

レジリエンスとは、災害やテロなど想定外の事態で社会システム事業の一部の機能が停止しても、「全体としての機能を速やかに回復できるしなやかな強靭さ」を表す言葉であり、防災や事業継続計画（BCP）だけでなく、国家戦略、事業戦略に組み込むことで競争力の強化を図ることができる。最近の「国土強靭化」政策の強靭も、レジリエンスの意識といえる。日本語では「復興・復旧力」「防災力」ともいわれる。

このセッションでは、東京工業大学・和田章名誉教授の提言論文も発表されている（日本）。この提言については後で詳細に紹介する。

- セッション4：地震応答、復旧、修繕と再建

2011年に大地震のあったニュージーランドのクライストチャーチにおける被害建物の再建工法の紹介（ニュージーランド）、筆者の日本の分譲マンションの耐震診断の結果、補強工法および問題点の紹介（日本）があった。

- セッション5：最近と過去の大地震に学ぶ教訓

2016年熊本地震における免震建物の観測応答記録の紹介（日本）の中に、2011年東日本大震災時の東京電力福島第一、第二原発の免震重要棟の地震観測記録も紹介されており興味を引いた。大きな地震で最大800gal近くもあったが、免震構造によって200gal前後と最大1/4にも

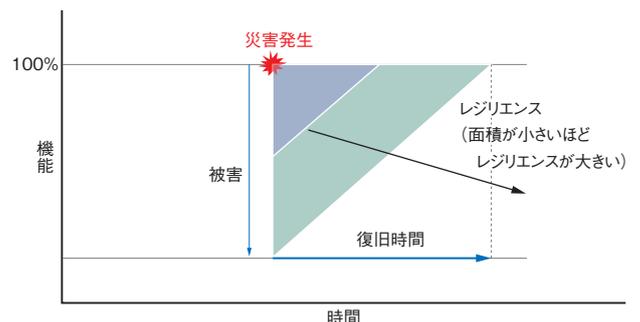


図1 レジリエンスの定義(土木系)²⁾

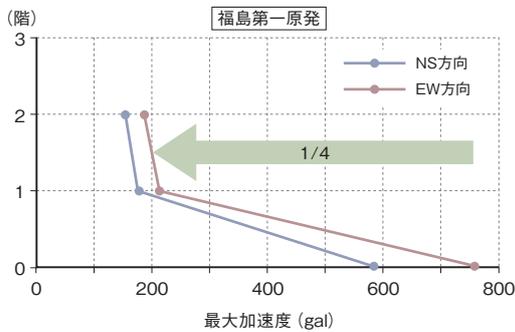


図2 東京電力福島第一、第二原発での観測記録³⁾

なっていることがわかる (図2)。

また、建物被害でなく非構造部材の被害で、操業が停止した生産施設の紹介もあった (日本)。

5. 和田名誉教授の提言⁴⁾

和田名誉教授の論文「次の大地震に対する、より強いメガシティ東京の対策」の詳細を以下に示す。

5.1 最新の科学的な知見に基づく、より幅広い想像力による思考

国連の持続可能な開発目標 (SDGs) の17のGoalのうち、Goal 9 (強靱なインフラを整備し、包摂的で持続可能な産業化を促進し、技術革新を育てる)、Goal 11 (都市を包摂的で安全、強靱かつ持続可能にする) に従ったレジリエントな都市づくりを目指すべきである。我々の想像力が乏しいから、大きな災害に対する事前対策が取られていない。自然への畏敬の念を忘れず、真摯な対策を取ることが望まれる。

5.2 住む場所 (土地)、活動する場所 (土地) を正しく選択する

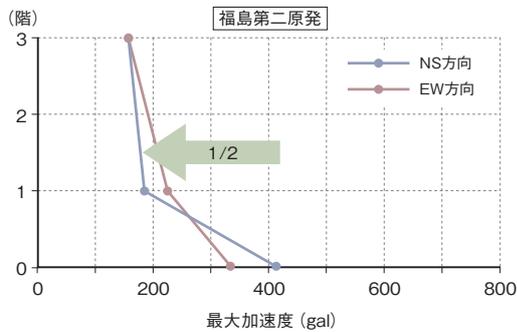
日本の建物・住宅はその土地の災害リスクを十分に考慮しないまま建設され、被害を受けている事例が多い。活断層の考慮だけでなく、地盤増幅が小さいところを選ぶべきである。また、日本は軟弱地盤帯に建設されている建物が多いので、長周期地震動、高層建物の共振および軟弱地盤の液状化等にも注意が必要である。

5.3 大都市では耐震設計係数を導入し、耐震強度を高める

日本の大都市は、地震被害が周りの地域に与える影響および経済に与える影響が大きいため、建物とインフラ施設の耐震設計係数を導入し、他の地域よりも強くつくるべきである。

例えば、1.25とか1.50とし、他の地域よりも大きな係数を都市サイズに応じて採用すべきである。

このような耐震設計方針は中国でも採用されており、地震学的に定められた地震強度レベル是北京7、上海6



であるが、都市の重要性と規模を考慮しそれぞれ8と7に1段階、大きくしている。

5.4 耐震強度の低い構造物の改修に対する戦略

既存の土木、建築および木造住宅などで耐震強度の低いものは補強が必要である。特に木造住宅は最新の知識をもって設計・施工すべきである。

土木・建築にかかわらず、鉄道、ガス・上下水道、ガス、工場、プラントも最新の調査・診断が必要である。有効な被害低減を図るために時間と費用がかさんでも、建物の耐震改修を推進しなければならない。公的支援で個人住宅および個人所有の建物の耐震改修を行うと税金が有利になる。このように個人住宅を含む建物の耐震強度を高めることは、社会的な運動としてバックアップされるべきである。

5.5 集中している人口と機能の再配分

過度の人口、機能の集中を防ぐことが日本の持続可能性を高めるために必要である。

日本は30年以内に大きな地震が発生すると想定される地域に、過度の人口集中、社会・経済の活動、官庁機能が集中している。集中している機能、人口を全国に配分することが必要となるが、個人的な努力では進まない。統合と集合の改変は中央官庁と自治体が動かないと進まない。特に官庁、地方の自治体、会社の集中を防ぐことは政府によってしか行えず、これにより地震リスクの低減に貢献すべきである。

5.6 人々が滞在可能で、避難することも可能な建物をつくる

地盤と建物の耐震対策の推進により、我々は地震の最中でも建物の中に滞在し、動き回ることができる都市をつくる必要がある。緊急輸送道路と避難路を担保し、災害時においても常にライフラインを維持することは人命の保護のために必要である。将来の都市災害を防止するための特殊な方法も考案する必要がある。例えば、局所的な地盤条件を考慮した将来の地震動による予想マグニチュード地図を作成するなど、現状の住宅、斜面や道路

などに基づくハザードマップを作成し、災害防止のために都市の開発計画を策定する必要がある。

5.7 情報通信技術の有効な使い方と強化

災害時の情報通信システムの機能向上のためには、より大きな通信容量、より寿命の長い蓄電池、普段よりも長い継続性を求めての緊急時応答能力の向上を図るだけでなく、情報処理技術の進展を図り、災害が発生した際に直ちに応じられるよう準備をする必要がある。

東日本大震災では、携帯端末情報によるソーシャルメディアにより情報が伝達され、携帯電話と固定電話の音声通話は10%しか通じなかった。この経験により、通信能力の向上が急遽図られた。第1の手段は、普段から災害時の通信制限を防ぐためにインターネットと電話の通信能力の向上を図ること。第2の手段は、携帯端末の基地局を増やし、寿命の長い蓄電池を使うこと。緊急時には可搬型基地局、さらに衛星通信を直ちに使用できるようにすること。第3の手段は、携帯端末をより寿命の長い蓄電池を使えるよう改良し、緊急時はエネルギーセーブモードとすることである。

5.8 ポスト大地震に必要な事項の準備と行動

地震被害を防ぐ有効な方法は、地域の特性を活かした防災教育を学校、地域社会、公的・私的な施設を用いて行うことである。地域の人々と常日頃から親密な関係を構築しておくことが重要、また外国人対策も必要である。彼らは地震災害の何たるかも知らず、日本語もほとんど通じない。大きな地震に備えるには、社会的なインフラと建物が地震後にも安全に生き残り、機能が維持でき、人々を被害から守ることが大事である。大地震後の避難の後に、防火対策、ライフラインの維持により、できるだけ被害と社会の無秩序を減らすことが肝要である。ある程度の地震被害が避けられないことがわかれば、避難と復興の仕事を分けて、自助、共助、公助を使い分ける。この適切な役割分担によって社会経済的な損失を減らすことができる。



写真3 兵庫県南部地震時に特設公衆電話に並ぶ人達⁵⁾

5.9 構造的な耐震技術の開発と適用

我々は日本の耐震工学技術を適切に推進するだけでなく、より破壊的な地震における、構造物の予想を超えたひどい破壊を防ぐための研究開発を実施している。

1995年の兵庫県南部地震の教訓により免震構造とパッシブ制震が進歩し、幅広く使われるようになった。2011年の東日本大震災では地震と津波の複合した災害が発生し、人々はこのような破滅的な災害に対する対抗手段の重要性を認識した。予期しない破壊的な事象に対しても過度な破壊を防ぐような、十分に高性能な構造技術の開発が重要であることがわかってきた。

我々は災害の中で生き残るだけでなく、大きな地震後でも機能を維持しているインフラと建物が必要である。最近の耐震設計基準では、構造部材の塑性変形により大地震に抵抗することが期待されているが、この考え方では構造物の損傷を許容し、地震で倒壊せずとも損傷を受けた建物はいつか破壊される。構造設計手法としては、損傷は取り替え可能な部材に限定すること、さらに構造物が経験したこともないような大きな地震動を受けても危機的な状況にならないようにすることが必要である。

このことを達成するには、免震構造とパッシブ制震がすべての国の構造物に適用されることが推奨される。研究者も設計者も経験を積み、高性能な耐震工学技術を開発し、よりレジリエントな社会になるように成果を還元すべきである。

5.10 国内外の大地震を学び、国際的な共同作業と知恵と行動の共有

国内外の種々の地震被害の防止対策を知ることで、似たケースに防止対策の適用が可能である。21世紀になって日本では各地で大地震が発生し、今まで長い間地震が発生しなかったところでも発生している。これはまさしく地震リスクのない場所はないといえる。

世界中に破滅的な地震が次々と発生している。例えば、スマトラ地震（2004年）、汶川地震（2008年）、ハイチ地震（2010年）、ネパール地震（2015年）、台南地震（2016年）、イタリア中部地震（2016年）、熊本地震（2016年）などである。これらの地震には種々の共通的な特色がある。例えば異なる国それぞれにおける都市の構成、建物とインフラ、交通、情報ネットワークの発達などであり、災害を防ぐ努力は以前に発生した他の地域の災害を参考にし、学ぶことによって行われる。

5.11 種々の分野における専門知識の共有と分担

都市の大きな地震による被害を減少させて防ぐことは、科学工学ばかりではなく、人類学、社会科学、経済、医学など、種々の分野の知識を有する人が問題に対して包括的に、連続的に専門分野の枠を越えて働くことが必要

である。

この目的のために知識は共有され、異なる専門領域間で交換されなければならない。災害の防止、減少、復興は多くの学問的な分野を含んでいる。しかし、学問というのは特殊な分野に分割されており、研究者は他の特殊領域の行為や討論には興味を示さず、他の分野の結果を良く考えもしないで信用する傾向がある。自分の専門領域のみの討論では、結果や行動に対する責任は限られた範囲になりがちである。

自分の専門的な領域での意見を深めるだけでなく、常に異なる分野の人々の知識を積極的に共有・交換すべきである。異なる分野の見方がなければ問題は解決しない。

研究者とエンジニアは、災害の防止、減災を進めるために、市民や管理的な立場で接している人々と共同作業を進めるべきである。

5.12 結論

大地震は建物やインフラ施設を損傷させる。種々のポスト大地震に対する努力が必要である。例えば、救助、医療的手当、仮設建物の準備、復旧と再建などである。これらの努力はハードとソフトの複合的な形態により実行される。

人間は完全には自然災害に打ち勝つことができないので、プレ大地震の対策としてソフトウェアの対策が重要である。もう一方で、ポスト大地震対策として人命救助は、経済的・マンパワーの観点からもより有効である。ハードとソフトの対策が、大地震対策としてより焦点が当てられている。

6. 日本の分譲マンションの耐震診断と耐震改修についての調査研究の概要⁶⁾

(筆者の発表論文。写真4参照。)

大都市直下型地震や海溝型巨大地震の発生が懸念される日本では、1981年の新耐震設計法以前に施工された既存建物については、1995年「建築物の耐震改修の促進に関する法律」によって、耐震診断・耐震改修が要請されるようになった。さらに2013年の上記法律の改正（緊急輸送道路等の避難路沿道建築物の耐震安全性の確保など）により、分譲マンションの診断・補強が本格的に開始された。

この論文では、緊急輸送道路沿道建築物の診断・改修計画に対する評価機関の1つであるJSCAの耐震診断・補強判定委員会（寺本隆幸委員長）で取り扱った、2014～2017年度の237棟の分譲マンションの報告書を用い、その診断結果と補強計画について検討すると共に、進まない



写真4 筆者の発表の様子

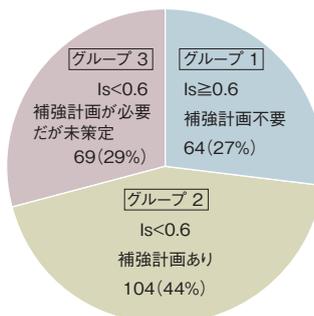


図3 分譲マンションの耐震診断結果

改修についての提案を示している。

分譲マンションの耐震診断結果を図3に示す。耐震改修が必要な建物が過半となっているが、耐震改修は進んでいない。分譲マンションの耐震改修が進まない原因は以下のように考えられる。

- 居住者と建物の老化が進んでおり、経済的に余裕が少ない分譲マンションの居住者には、改修工事の費用負担が多すぎて対応できない
- 分譲マンションであるため、管理組合での合意の形成がなかなか難しい

現状では耐震補強が進まないまま次の大地震に遭うおそれがあるため、分譲マンション耐震改修の進め方としては、助成の拡充と段階的な補強などをすすめることと、何よりも住民にやる気を出させる継続的な助言ができる仕組みの整備が必要である。

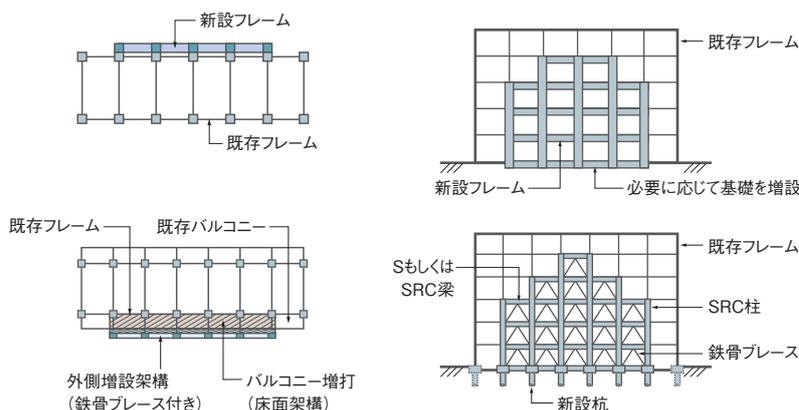


図4 外側架構と外側増設架構（鉄骨ブレース付き）

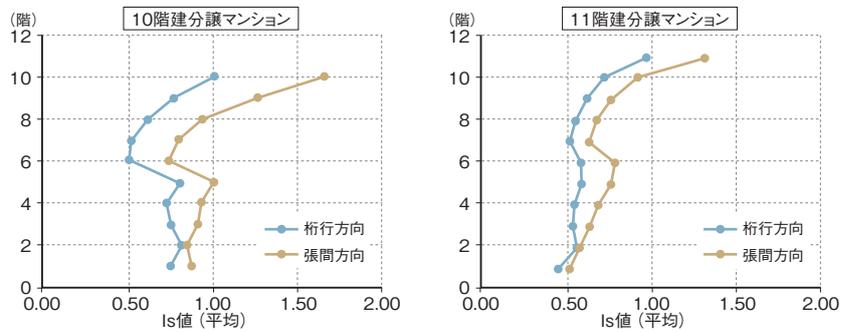


図5 下部SRC造+上部RC造建物(混合構造)のIs値(平均)の高さ方向分布



写真5 参加者全員による記念撮影

提案されている補強工法は、居ながら補強が可能な外側補強が多い。外側補強の事例を図4に示す。外側補強では、低強度コンクリートによるアンカー強度に留意が必要である。下部SRC造+上部RC造の混合構造の高層建物の場合には、中間層のIs値が小さい場合も認められるため、中間層補強も考える必要がある(図5)。

構造設計者としても、「社会的な負の遺産」としての耐震性の不足する建物を積極的に補強し、次世代の負担を軽減するように努力すべきである。

7. おわりに

英語が堪能でないと他国の参加者とのコミュニケーションは難しいものがあるが、なんとか交流を深めることができた。次回は米国がホスト国となり、2021年にハワイにて開催予定である。

〔参考文献〕

- 1) <https://www.atcouncil.org/atc-15-series>, 2019.4.17
- 2) P.Brabhakaran : Evolution of Resilience-Based Design of Infrastructure, Workshop-17, pp.3~9, 2018.11, <https://www.atcouncil.org/atc-15-16-presentations>, 2019.4.17
- 3) M.Takayama : Observed Response of Seismically Isolated Buildings During the 2016 Kumamoto Earthquake, Workshop-17, pp.1~5, 2018.11
- 4) Akira Wada, etc. : Stronger Mega Cities for the Next Major Earthquake, Workshop-17, pp.1~3, 2018.11
- 5) 建築雑誌, 1995.5
- 6) 中野時衛ほか : 日本の分譲マンションの耐震診断と耐震改修についての調査研究, Workshop-17, pp.3~4, 2018.11