

建築構造設計における冗長性と頑強性の役割——リダンダンシーとロバスト性とは

山川 誠 京都大学

本PDは、9月20日(土) 9:00～12:30に開催された。司会是高田毅士(東京大学)、副司会は小檜山雅之(慶應義塾大学)。主旨説明、主題解説の後、会場との質疑応答および全体のとりまとめが行われた。

主旨説明

竹脇出(京都大学) 建築構造設計では、構造特性や外力が有する不確定性に対するロバスト性を的確に検討・考慮する必要があり、致命的な損傷や崩壊に至らないために、リダンダンシーも重要な構造性能である。しかしながら、建築構造設計の分野におけるリダンダンシーやロバスト性の定量的な検討は限定的なものであり、性能を向上させることとリダンダンシーやロバスト性を向上させることの関係についての議論も現状では不十分である。本PDでは、構造設計において、ロバスト性やリダンダンシーを組織的に獲得するための理論的背景、実設計例を紹介し議論を行う。

主題解説

1. ロバスト制御について・西谷章(早稲田大学) ロバスト性を定量的に考慮しているという点では、制御の分野が積極的である。制御におけるロバスト性とは、不確かさ・変動の存在が避けられない制御対象モデルに、設計者がある幅を想定し、この範囲内であれば、安定した制御が行えるように、制御系を設計することである。このような制御対象の変動を考慮して安定な制御の実現を目指すロバスト制御の中心が H_∞ 制御理論であり、この H_∞ 制御理論におけるロバスト安定問題の考え方を解説した。

2. ロバスト性を考慮した設計1・曾我部博之(愛知工業大学) ロバスト性に関する研究は、工業製品の製造過程や使用環境でのばらつきを小さくするために品質工学の分野で発展し、大きな成果を上げてきた。このような設計方法としてシックスシグマ設計の実績が積み上げられている。シックスシグマ設計の考え方に基づいた部材耐力にばらつきがあっても崩壊荷重への影響が少なくなるような骨組の塑性設計法を解説し、ロバスト性の高い設計解では崩壊荷重だけでなく崩壊形の変化も少なくなることを示した。

3. ロバスト性を考慮した設計2・寒野善博(東京大学) 不確定性モデルを非確率論的に扱う方法において、インフォギャップ理論におけるロバストネス関数は重要な役割を果たす。剛性と外力の双方にばらつきを持つモデルの変位応答に対して、なるべく小さく外側から変位応答のばらつきを抑える楕円が半正定値緩和により得られることを示した。次に、この方法を応用することで、ロバストネス関数の下界を効率的に求める方法を解説した。このようにロバスト性を定量的な指標で評価することにより、構造物のコストとの定量的な関係を得ることができることを示した。

4. ロバスト性を考慮した免震設計・山田和彦(鹿島建設) 免震建物においては、免震装置の特性が建物全体の動特性に大きな影響を与える。実務では、特性変動の組み合わせでクリティカルになると想

定されるケース全てについて、時刻歴応答解析を実施しているが、その労力は多大なものである。その対応策として、系全体の等価剛性・等価減衰の変動を介して応答結果の変動を評価する簡便法を紹介した。現在、一般的な免震建物については、概略特性が明らかになってきているので、紹介した簡便法等にて特性変動を評価してもよいのではないかとすることを示した。

5. リダンダンシーを考慮した設計例：朝川剛(日建設) 構造設計者は荷重・材料・解析等のばらつきを意識しながら構造設計を行っているが、ロバスト性・リダンダンシーに関する定量的な評価を行っているわけではない。そこで考え方を整理したうえで、連層PC鋼棒ブレースを有する制振建物の設計例、ハイブリッドチューブ構造による集合住宅の設計例におけるロバスト性・リダンダンシーの解説をした。構造設計の高度化や経済的状況により設計の時間が限られている中で、終局状態を想定した構造設計の工夫や突発的な事故を考慮した構造設計の必要性を指摘した。

6. リダンダンシーについて(WTCを例として)：磯部大吾郎(筑波大学)

リダンダンシーという言葉は、2001年9月の米国同時多発テロでニューヨーク世界貿易センタービルが崩壊したことにより、クローズアップされるようになったと言えるが、その直接的な崩壊要因は明らかになっていない。ここでは独自開発した数値シミュレーション技術を用い、航空機の衝突により柱および接合部に引張りが生じて致命的なダメージが与えられたことに加え、火災の発生により初期崩壊が生じ、接合部の脆弱さのために崩壊速度を抑えることができなかったという結論を得た。

討論

討論では、各主題解説への質疑に基づき議論がなされた。 H_∞ 制御における周波数重み設定、WTC衝突解析における水平振動および解析時間、免震装置の特性変動を考慮した応答解析の必要性、建築構造設計におけるロバスト性・リダンダンシーといった概念の整理および用語の定義、日米の設計における対応の違い、構造物の安全性という点から不確定性をどのように認識すべきかについての議論がなされた。

まとめ

高田豊文(滋賀県立大学) ロバスト性およびリダンダンシーの定義は分野によっても人によっても異なるが、入力 of のばらつきに対する出力のばらつきの評価がロバスト性であり、システムの変化によっても出力が限界値を超えず安定であるかの評価がリダンダンシーであると考えられる。建築の構造設計においては入力のばらつきが与える影響が大きいため、システムのばらつきや安定性を明示的に設計に取り入れているとは言えない。しかし、ロバスト性・リダンダンシーを考慮した設計の必要性に関しては全員が共通した認識を持っており、これからもロバスト性・リダンダンシーに関する継続した議論が必要である。