

2011 年

**KOBORI** 

**RESEARCH**

**COMPLEX**

**INC.**

# 新しい耐震設計を目指して

「2011年 3月11日 14時46分」この瞬間は、日本人にとって、生涯忘れる事の出来ない極めて衝撃的な出来事として、心に深く刻み込まれることとなりました。

1995年1月17日には、誰もが予想だにしなかったあの「阪神淡路大震災」が発生し、被災者の心の傷が未だ癒えない僅か16年後に、再び日本列島を巨大地震「東北地方太平洋沖地震」が襲ったわけです。

この二つの地震では、発生メカニズム、規模、継続時間、被害範囲等々に大きな相違がありましたが、その一方で多くの共通した問題点も改めて露呈致しました。すなわち、新耐震設計基準による建物の構造躯体の被害は、比較的軽微にとどまったものの、天井、間仕切り壁、外装等の非構造部材やエレベーターをはじめとする設備機器類に、多くの不具合が発生致しました。特に天井の落下被害は、震度6～震度7を記録した東北地方に止まらず、震度5弱～震度5強の関東地方にまで広く及び、集会場、空港・駅舎のターミナルビル等の大空間をはじめ、オフィス、店舗並びに生産工場等多岐にわたっています。集会場では天井の落下により死傷者が出たほか、営業や生産等の事業活動が長期にわたって、中断を余儀なくされるという極めて深刻な事態に陥りました。生産活動の中断は、国内経済はもとより、世界経済にも多大な影響を及ぼし、社会活動に大混乱を惹き起こしたことは、周知の通りです。

かかる被災状況から判断して、もはや現行の耐震設計基準が、時代の要請に答えられなくなっていると言わざるを得ないでしょう。もともと建築基準法の耐震規定は、震度6～震度7の大地震時での人命保護を第一義にして、建物構造躯体の大破、倒壊を防ぐという最低限のレベルを規定したのですが、大惨状を目の当たりにした今、国民の多くが現行の耐震設計基準に大きな疑問を抱き始めています。

国交省はこのたびの地震による深刻な被害状況に鑑み、本年度中に天井に関する技術ガイドラインをまとめると発表しています。

これを機に天井の落下防止策のみに止まらず、時代の要請に的確に答えるためにも、官、学、産が一体となって地震等の災害時における建物の機能保持の重要性を再認識して、構造体、非構造体、設備機器さらには液状化により大打撃を被った建物並びに周辺インフラや津波対策まで含めた総合的な取り組みが急がれます。

我が国が被ったあまりにも大きな犠牲を無駄にすることなく、ここから得た様々な教訓を次世代に確実に引き継ぐことが、我々現役世代の責務である事を忘れてはなりません。



2011年6月  
代表取締役社長 五十殿 侑弘  
工学博士

## 会社概要

社名	株式会社小堀鐸二研究所 (KOBORI RESEARCH COMPLEX INC.)
設立	1986年11月1日
登録	一級建築士事務所東京都事登録 第29193号
所在地	〒107-8502 東京都港区赤坂6丁目5番30号
事業内容	1. 構造物に関する解析、設計、監理及びコンサルティング 2. 耐震・免震・制震構造に関する調査、研究開発、設計、解析及びコンサルティング並びに機材・製品の販売 3. 地震動並びに地盤特性に関する研究開発及びコンサルティング 4. 原子力施設、海洋施設、宇宙開発施設等の特殊構造物並びに先端技術領域の研究開発及びコンサルティング 5. コンピュータのソフトウェアに関する研究開発

# 研究トピックス

## 2011年東北地方太平洋沖地震の被害調査

### 地震の発生機構と津波

#### ■マグニチュード9.0

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震は我が国の観測史上最大のマグニチュード9.0で発生しました。津波の大きさは9.0に相応しく凄まじいものでしたが、揺れの強さは9.0ほどは大きくありませんでした。事実、揺れて規模を測る通常の気象庁マグニチュードMJは8.4と発表されており、9.0は震源断層のすべりの総量を表すMwとよばれるモーメントマグニチュードなのです。通常はMwとMJはほぼ同じ値を取るようになっていますが、超巨大地震になるとMwはMJに比べて有意に大きくなり、揺れの強さ（強震動）をあまり成長させない地震だと言えます。

#### ■強震動はどこから来たか

この地震は太平洋の海底の岩盤が日本列島の下に潜り込む境界で発生しました。GPSと呼ばれる観測で測られた地殻変動や体に感じないほどの周期の長いデータから境界でのすべりを求めると、大きくすべった場所（アスペリティ）は宮城県のはるか沖合い、日本海溝のすぐ近くの海底下に求められ、最大で60mにも達したとのことです。このすべりが海底を変動させて大津波を発生させた元凶です。一方、震度のデータから独自に開発した方法で強い揺れの震源を求めると、かなり陸よりで境界の深さが30km位のやや深い位置の2カ所となり、アスペリティの陸側の縁にあるようです。揺れのエネルギーを求めるとほぼMJと一致しており、Mwとの差から換算すると、我々が感じた揺れのエネルギーはこの地震全体のエネルギーのわずかに1割程度で、津波に大きなエネルギーを割いた地震であったことがわかります。

### 地震動と今後の地震活動

#### ■長い継続時間と複数の波群

兵庫県南部地震以後、K-NETやKiK-netに代表される高密度強震観測網が整備されており、これらにより北海道から九州に到る広域で強震記録が収録されました。今回観測された波形の特徴としては、長い継続時間の中に複数の波群が認められ、この波群の明瞭度が観測点によって顕著に異なることが挙げられます。速度応答スペクトルの空間分布を見ると、周期1秒以下の短周期帯域では太平洋岸沿いで振幅が大きく、逆に日本海側で小さくなっています。これは火山フロント付近での減衰が大きいことが関係していると思われます。一方、5秒以上の長周期帯域では、宮城県や関東平野に加え、日本海側の新潟や庄内平野付近でも振幅が大きくなっています。

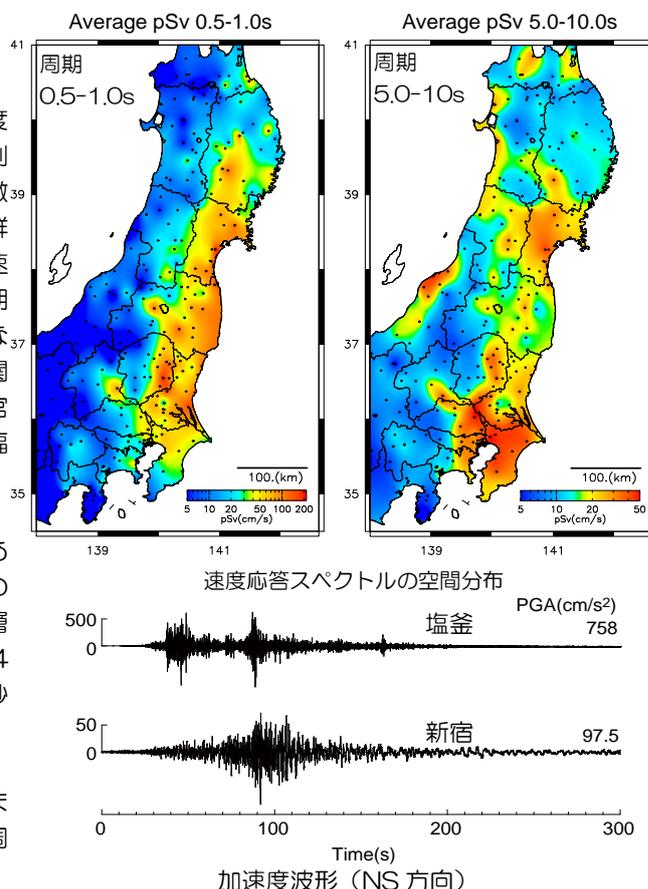
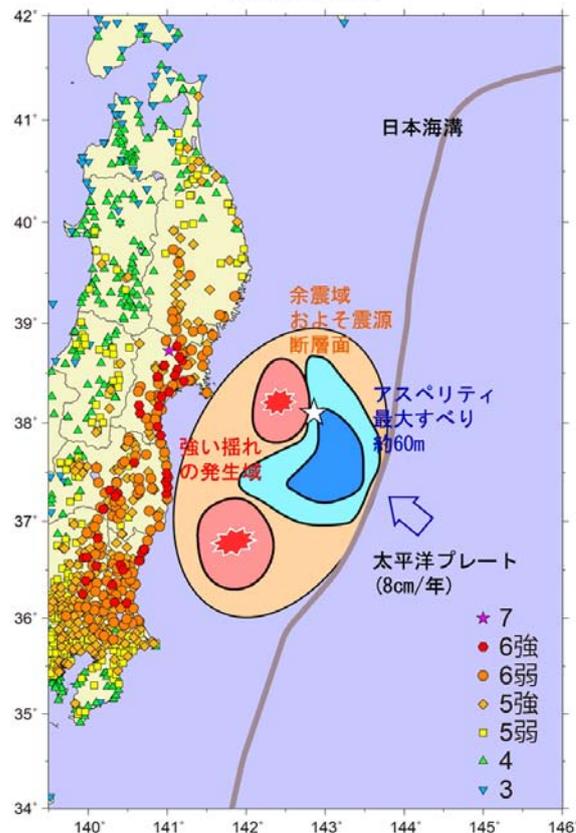
#### ■首都圏の地震動

関東平野での加速度波形には単独の波群が認められるのみであり、震源近傍の波形とは異なっています。周期2秒程度以上のスペクトル振幅は観測点によらず30~40cm/sであり、超高層や免震建物の動的設計に用いる値の約半分でした。また、2004年新潟県中越地震など、過去の観測記録に見られた周期6~8秒の顕著な卓越が今回の地震では見られないのが特徴です。

#### 今後の地震活動

超巨大地震の発生に伴い、地殻変動が大規模かつ広範囲に生じました。今後数年はアウトライズ（海溝軸の外側）などの震源域周辺で発生する大規模地震への警戒と備えが必要です。

東北地方太平洋沖地震：震源断層の詳細と震度分布 (Mw=9.0 MJ=8.4)



## 揺れの強さと振動被害

今回の地震では、岩手県から茨城県にかけての広い範囲で震度6となり、首都圏でも震度5となりました。震度6となった地域では、地震動の強さは安全限界検証用の地震動と同程度であり、震度5となった首都圏の地震動の強さは、その1/2~1/3であったと見られます。震度6の地域では、落階した建物や隅柱に重大な損傷が生じた建物が幾つか見られましたが、深刻な構造的な被害が生じた事例は比較的少数でした。

一方、震度6の地域では、多くの建物で天井の落下や外壁の脱落などの被害が発生しました。首都圏においても、ホールの天井が落下し、継続使用が困難になるという被害が発生しています。今後は、構造躯体の安全性確保だけでなく、2次部材の損傷防止にまで配慮した質の高い耐震設計が求められると考えられます。



高層棟柱脚部の圧壊

1階の落階



外壁の落下(ケンブラッツより)



天井の落下(asahi.comより)

## 大規模な液状化の発生

今回の地震では、首都圏の臨海部で大規模な液状化が発生しました。首都圏では1987年の千葉県東方沖の地震で震度5を経験し、今回と同様に千葉や浦安で液状化が発生しました。しかし、液状化の発生した範囲は今回の方がはるかに広範囲で、液状化の程度も著しいものでした。同じ震度5で、液状化による被害が大きく異なった理由としては、今回の地震の方が継続時間が長かったことや、地震動の周期成分の差などが考えられますが、今後の検討により解明する必要があります。

また、同程度の地震動を受けた首都圏の臨海部でも、埋め立て地によって液状化による被害に差が見られました。浦安では、旧海岸線より海側の埋め立て地では、ほぼ全面的に液状化が発生しましたが、一部の地区では液状化が発生しませんでした。このような差が生じた理由を検討することも、今後の液状化対策を考える上で重要と考えられます。



傾斜した建物と噴砂



高架柱脚の地盤沈下



建物の傾斜



浦安の液状化地域の分布

## 沈下・浮き上がり・地盤の相対変位による被害

宮城県では、河川の近くや仙台駅より海側の地域で、全体が傾斜した建物が見られました。また、耐震補強を行った建物が、全体沈下により使用不能となった事例が見られました。これらの建物では、地盤変形による杭の損傷が疑われます。従来の義務化された耐震診断では、地盤変形の影響や地盤と建物の相互作用の影響を考慮することが求められておらず、耐震診断の課題が明らかになったと言えます。

震度6となった茨城県の臨海部では液状化が発生し、多くの工場が被害を受け長期に渡る操業停止を余儀なくされています。対策が講じられていない地下施設では、浮き上がりが発生しました。液状化した地盤の相対変位により、工場内のパイプラインやベルトコンベアのラックが強制変形を受け、使用不能となりました。

また、工場に付設された専用埠頭が被害を受けたため、操業不能になった事例も見られました。工場の機能を維持するためには、主要施設の耐震安全性を確保するだけでは不十分であり、施設間をつなぐ各種ラインや付属施設を含めた総合的な対策が必要となることが明らかになりました。



地下水槽の浮き上がり



アースアンカー付鋼板矢板の崩壊



集合住宅の全体傾斜



地盤の相対変位によるパイプラックの傾斜

## 今後の巨大地震への備え

### ■南海トラフ沿いの巨大地震

地震調査研究推進本部によると、今後 30 年間で南海トラフ沿いの巨大地震が発生する確率は 60%以上と高く、切迫性が指摘されています。また 1707 年宝永地震のように、東海・東南海・南海地震が連動して発生する可能性があります。

西南日本で発生する内陸地震の活動と、南海トラフで発生する巨大地震には相関があることが指摘されており、巨大地震が発生する数 10 年前と発生後の 10 年間に被害地震が集中的に発生しています。1995 年兵庫県南部地震以後、内陸地震が頻発していることを考え合わせると、南海トラフ沿いの巨大地震も含むさまざまな地震が今後発生する可能性があります。

### ■長周期地震動

東北地方太平洋沖地震は M9.0 の超巨大地震でしたが、首都圏の観測記録に顕著な長周期成分の卓越は見られませんでした。過去の地震を振り返ると、2005 年宮城県沖地震は同様の傾向でしたが、南海トラフ沿いで発生した 2004 年三重県南東沖地震では周期 5~6 秒の成分が顕著に卓越しました。南海トラフ沿いの巨大地震では、首都圏を始めとする平野部で、今回より強い長周期の揺れが生ずる可能性があり、その対策が重要です。

### ■二次部材の被害と対策

東北地方太平洋地震では、深刻な構造的な被害を受けた建物は少なかったものの、天井などの二次部材に被害が発生し、多くの工場が長期操業停止を余儀なくされました。これは震度 6 の地震に対して現行基準では、人命保護のために建物の崩壊防止のみが設計目標とされているためです。これを回避するために、今後は同様の地震に対して、機能維持が求められると考えられます。当社では、既に天井の地震被害に着目して、実験と解析的な研究を行っており、機能維持に配慮した質の高い耐震評価が可能です。

### ■液状化による被害と対策

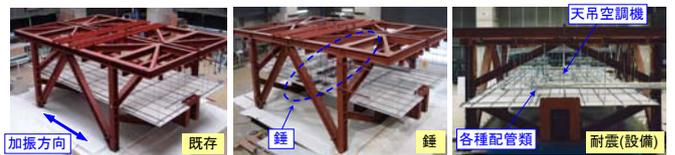
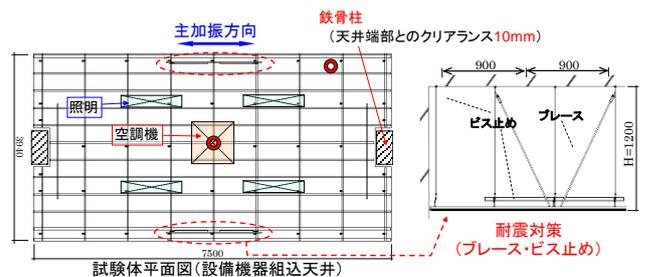
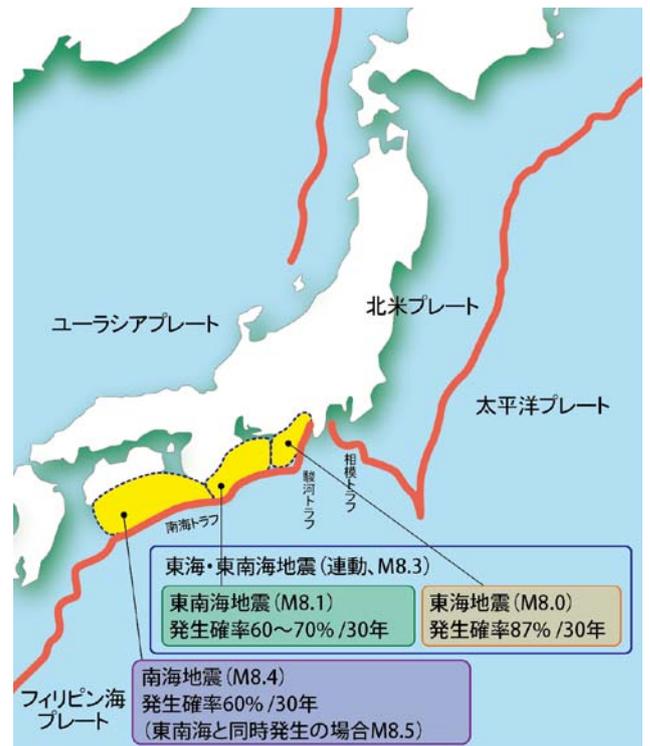
今回の地震では、地震動の継続時間が長かったために、震度の割に液状化が発生した地域が多く、首都圏の一部でも深刻な被害が発生しました。液状化が発生した地域の産業施設では、地下施設の浮き上がり、地盤の不等変位によるパイプラインやベルトコンベアの接続部の損傷等が発生し、主要施設は健全でも操業継続に支障を来す事例が目立ちました。

地盤と建物の相互作用を考慮した設計法の研究は、当社が特に注力してきた分野で、液状化対策を含めた対応も可能です。

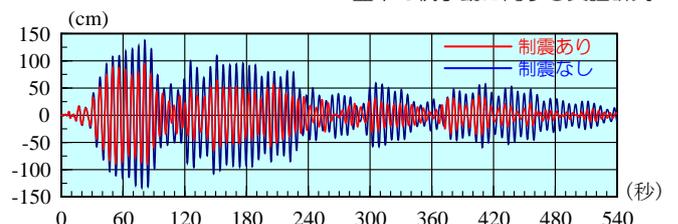
### ■超高層ビルの揺れ対策

今回の地震では、東京都内の 30~50 階建てクラスの超高層ビルで、入力加速度が 80~100gal 程度、上階の加速度は 130~150gal 程度であり、構造体や非構造部材に大きな被害はありませんでした。しかし近い将来発生が予想される東海・東南海・南海地震では、大都市圏の超高層ビルがさらに大きく揺れる可能性が高く、構造的被害並びに二次部材や家具什器のさらなる被害、エレベータの損傷などがより一層懸念されます。

まず、超高層ビル毎に長周期地震動と建物応答を評価することが必要です。過大な揺れが予想される場合には、制震化などの対策や家具什器の転倒対策が不可欠です。地震後すぐに自動復旧できる高耐震エレベータの設置や、ビル内に設置した観測装置で、地震後即座に建物被害を把握することも早期復旧に有効です。当社ではすでに複数のビルについての検討を行っており、制震改修による長周期地震動対策をすでに実施したビルもあり、今回の地震でその効果が実証されました。



天井の振動台実験

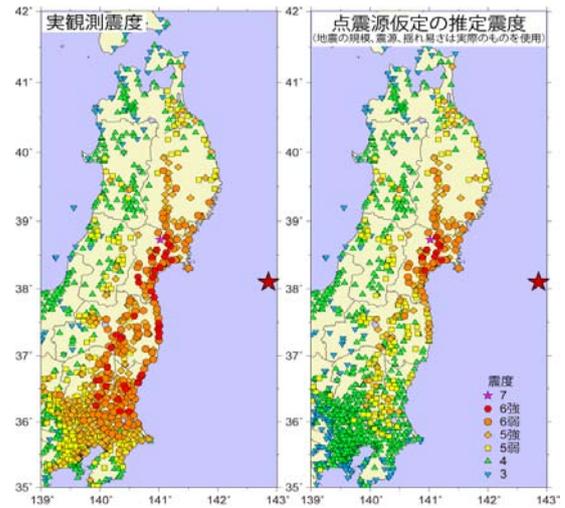


制震改修による応答低減効果の例

制震改修により、超高層ビルの揺れを小さくしたり、継続時間を短くすることが可能

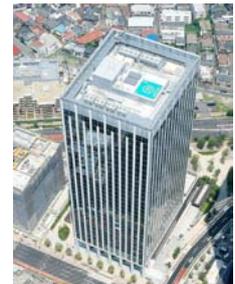
## 緊急地震速報とオンサイト速報

緊急地震速報については、東北地方太平洋沖地震およびその余震の発生によって様々な利点と問題点が指摘されています。震源域が広域の本震では、宮城県などの地域では主要動が来る前に警報が発令されましたが、点震源を仮定して揺れを予測しているため、首都圏など遠い地域では予測震度が小さく警報が発令されませんでした。さらに余震では、地震計の不具合が発生したり、複数の余震がほぼ同時に違う場所で発生したために、震源が正しく求まらず、誤報が多発しました。これは、震源を評価して揺れを予測することの難しさを示しています。これを補完するものとして、オンサイト速報のように敷地で地震観測したものを、直接揺れの予測に結びつけることが信頼性確保に重要と考えられます。オンサイト速報において、①用いる地震計を複数台使うことによって地震計の不具合に対する冗長性を確保すること、②P波検知機能を使って早く地震の識別を行い迅速な速報を提供できるようにすること、③遠方の巨大地震についてはP波の振幅がゆっくり増加するので、短時間では揺れが大きくなることを予測できない可能性があるため、振幅トリガーを併用することによって予測漏れをなくし信頼性を向上させること、などの改良を行うことで信頼性を向上させています。最終的には緊急地震速報の予測震度情報と組み合わせ、最適な速報信号を出すようにシステムを構築しています。



## 高性能制震装置の普及拡大

世界最高レベルの性能を誇る制震装置 HiDAX（ハイダックス）は、これまで 20 棟以上の超高層ビルに適用されており、2008 年度日本建築学会賞（技術）を受賞しました。当社の制震技術は一般高層建築以外の分野へも適用され、大空間屋根の振動制御にもオイルダンパ HiDAM（ハイダム）が採用されました。また、新設、既設を問わず、排気筒・煙突などの塔状構造物やプラントなどにも適用可能な、高性能・大速度対応の新開発オイルダンパ Nu-DAM も実用化しています。



参議院新議員会館整備等事業

新宿フロントタワー

制震装置 HiDAX の適用建物

## 免震住宅「テラス渋谷美竹」の構造設計・監理

1995 年の阪神・淡路大震災以降飛躍的に増えた免震マンションは、今年 3 月 11 日に発生した東日本大震災の影響により、更に増加する傾向が見られます。

「テラス渋谷美竹」は渋谷の一等地の建替え事業（共同住宅+事務所+店舗）であり、地上 3 階と 4 階の間に免震層を設けることにより、高い耐震安全性を確保しました。弊社は建築設計業務を受注した(株)UG 都市建築から構造設計に関する基本設計、実施設計、構造性能評価、工事監理の業務委託を受け、2013 年 2 月の竣工に向けて業務遂行しています。



この建物の構造設計においては次のことに留意しています。

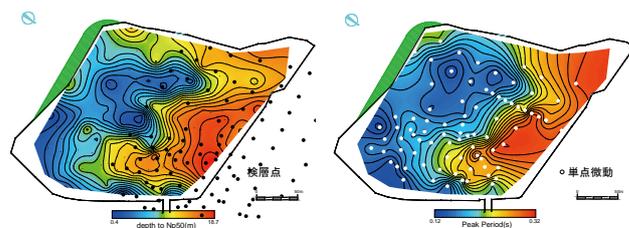
1. 4 階以上の階が免震により耐震性が向上するのは言うまでもありませんが、3 階以下の免震層下部についても 4 階以上の階と同等な耐震性能とし、建物全体の耐震安全性を確保しました。
2. 免震装置として建物荷重を受ける柱部分に鉛プラグ入り積層ゴム 24 基と天然ゴム系積層ゴム 9 基を配置し、それらに加えて免震層上下の梁部分に地震動の揺れを抑える減衰性能に優れたオイルダンパー 16 基を配置しました。

発注者：美竹ビルマンション建替組合  
 設計者：(株)UG 都市開発（意匠）  
 (株)小堀鐸二研究所（構造）  
 (株)共立システム設計事務所（設備）  
 施工者：(株)熊谷組

建築面積：2,036 ㎡  
 延べ面積：26,755 ㎡  
 軒高：GL+59.4m  
 用途：共同住宅、事務所、店舗等  
 階数：地下 3 階、地上 17 階、塔屋 1 階  
 構造：RC 造、中間階免震構造、杭基礎

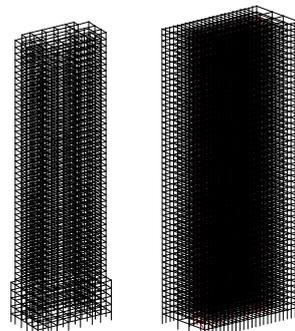
## 国交省の基準整備促進事業を受託(第3年度)

本事業は、国土交通省が建築基準法等に係る技術基準の整備と見直しを図ることを目的とし、民間事業者等から調査者を募るとともに調査費用を補助する公募事業です。2010年度の公募事業のうち、「10.地震力の入力と応答に関する基準の合理化に関する検討」を3年連続して受託し、(イ)RtとAiの規定における基礎バネの考え方の整理、(ロ)床の面内剛性に着目した場合の偏心率規定の適用方法の検討、(ハ)表層地盤の加速度増幅率Gsに与える工学的基盤の傾斜の影響の整理、(ニ)活断層に近接する地域の地震力に関する検討の4テーマについて調査・検討を行いました。このうち(ハ)では、人体には感じない微小な地表面の振動(微動)から、基盤傾斜の有無を判別する手法を提案しました。2010年度から新たに設定された「27.長周期地震動に対する建築物の安全性検証方法に関する検討」のうち、RC造とS造の挙動解析部分を受託しました。各種建物モデルにより長周期地震時の建物のふるまいと建物を構成する各部材の挙動を把握し、長周期地震時に特徴的なゆっくりした大きな振幅で長時間揺れることの影響を部材実験で確認するためのデータを提供しました。

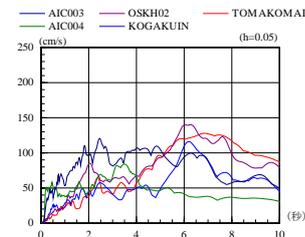


工学的基盤の深度分布

微動のピーク周期分布



RC造 46階 S造 50階  
各種建物モデル



各種長周期地震動の  
速度応答スペクトル

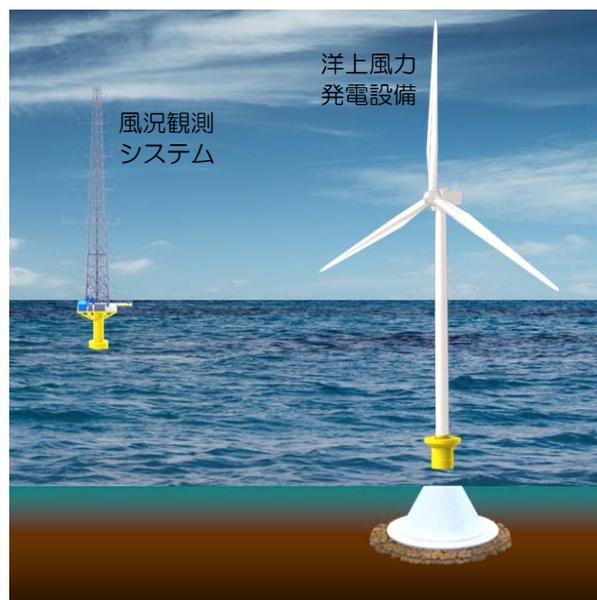
## 洋上風力発電設備の大臣認定取得

地球環境問題を背景に、CO<sub>2</sub>排出量の少ない風力発電設備のニーズがますます高まっております。近年では地上から洋上へと風力発電の適地を求め、海外では大規模な洋上風車建設を積極的に推し進めていますが、日本においても洋上風車の実証研究が開始されています。

2007年6月の建築基準法改正に伴い、高さ60mを超える風力発電設備に、超高層と同等の地震応答解析が義務づけられることになり、地盤ばねや地震動の策定、時刻歴による地震応答解析などが必要となりました。洋上では更に海水の影響を考慮する必要があります。

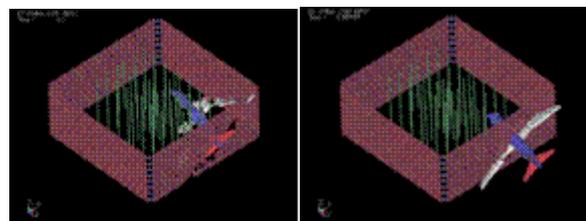
陸上風車において豊富な大臣認定取得の実績がある当社が洋上風車タワーおよび風況観測タワーの地震応答解析を実施し、日本初の国土交通大臣の認定が得られております。

なお、この成果は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の洋上風力発電システム実証研究の結果得られたものです。



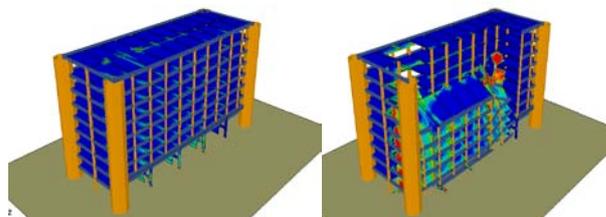
## 衝突現象や爆発現象を解析で評価

衝突現象に関して、当社は1980年代から実験や解析を通して、多くのノウハウを蓄積し、耐衝撃設計法を構築してきました。おりしも発生した2001.9.11テロでのWTCビルへの航空機の衝突を、そのノウハウを駆使して、シミュレーション解析し、その解析精度の高さに対して国内外から高い評価を受けました。



ニューヨークWTC衝突解析

また、同様に社会のニーズを先取りして、爆薬や混合ガスによる爆発現象および構造物の被害を表現できる解析手法を開発し、過去の爆発実験やテロによるオクラホマシティ連邦政府ビルの爆破シミュレーション、NEDOで実施された水素ガス爆発の実験結果のシミュレーション解析などを通じて、解析手法の信頼性の向上を図っています。



オクラホマシティ連邦政府ビル爆破解析

## 小堀鐸二研究所の技術

地震の発生から建物応答、応答制御までトータルに評価

- ◇ 地震動評価（海溝型、直下型）・コンサルティング
- ◇ 液状化を含む相互作用解析と対策・コンサルティング
- ◇ 超高層建物の構造設計・振動解析、コンサルティング
- ◇ 制震装置(HiDAX, HiDAM)の適用・コンサルティング
- ◇ 制震装置(DUOX, HDS)の適用・コンサルティング
- ◇ スーパーRC フレーム構法の設計・コンサルティング
- ◇ 免震構造の構造設計・コンサルティング
- ◇ お客様の技術サポート（オーナーズコンサルティング）
- ◇ 爆発・衝突現象などの特殊解析・コンサルティング
- ◇ 制震・免震改修の設計・コンサルティング
- ◇ 超高工作物(風力発電タワー・煙突など)の国交大臣認定対応



〒107-8502 東京都港区赤坂6丁目5番30号  
TEL : (03)5561-2421 FAX : (03)5561-2431  
URL <http://www.kobori-takken.co.jp>  
E-mail : [info@kobori-takken.co.jp](mailto:info@kobori-takken.co.jp)