（西谷）　始めに私から一言だけ申し上げます。地震が発生したときに、地震のデータを計測し、どこが壊れてしまったか、あるいはどこが傷んでしまったか、あるいは全く壊れていないかを判定する仕組みを、構造ヘルスモニタリングといいます。この仕組みを、最近さまざまな建設会社や設計事務所がビジネスにしようとしています。まだ完璧なシステムができているとはいえませんが、その一例ということで、小堀鐸二研究所様よりお話を頂きます。

「建物のゆれの把握にまつわるあれこれ」
日下　彰宏（株式会社小堀鐸二研究所）

1.小堀鐸二研究所について

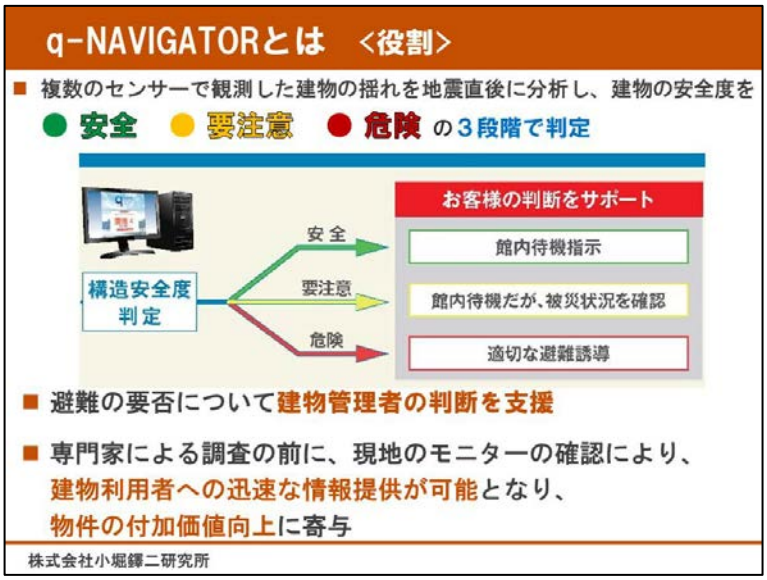
小堀鐸二研究所という会社は、われわれは 30 人程度のプロフェッショナル集団だと言っていますが、元をたどると、鹿島建設というゼネコンの中で、建物の揺れを抑える制震装置を開発するための特殊部隊として 30 年以上前につくられた部署です（図表 1)。その際に、京都大学名誉教授の小堀鐸二先生をお招きしたという経緯もあり、ただ単に鹿島のために仕事をするのではなく、出てきた成果を世の中の役に立たせようということで、小堀鐸二研究所は鹿島建設の一部署でありつつも別の会社として始まりました。最近は鹿島建設との関係を整理して、独立した会社としてやっています。地震工学を基に皆さんの役に立ちつつ、少しお金ももうけさせていただくということをやっている会社です。

1

2.どれくらい建物の揺れは把握されているのか

いろいろなことやっていますが、今日は建物の揺れの把握というお題で、最近始めたビジネスの話をします。実験的には、先ほどの酒井先生の話にあったようにいろいろ把握されていますが、われわれはそれを永続的に、持続的にできる仕組みをつくり、q-NAVIGATOR という商品として販売しています（図表 2)。これは、地震後の建物の安全性をいち早く判定し、避難の要否判断、建物改修等の BCP 対応を支援する仕組みです。建物にセンサーを四つほど付けて、その揺れの結果を見て、揺れが収まった後もこの建物にいていいかどうかを、緑、黄、赤の色で表します（図表 3)。建物の応急危険度判定を自動でやってくれるような装置だと思っていただければと思います。

2



3

私たちがこの装置を付けているのは、中規模から少し大きめビルが中心です。戸建てというよりは事務所ビルのような建物に、標準的には四つほど地震計を付けています（図表 4)。たくさん付けるやり方でも悪くはないのですが、それだと高くなりますし、メンテナンスが大変なので、われわれは必要かつ十分な数ということで四つにしています。これを建物の一番下の階と一番上の階、あとは真ん中辺りに適当な間隔で二つ付けて、コントロールや記録をするためのコンピューターを 1 台置き、揺れを測り、たくさん揺れれば赤を出し、少ししか揺れなければ緑を出します。

物の仕組み自体は、計測ができる方であればそれほど難しいものではありませんが、難しいところが一つだけあります。判定です。どれだけ揺れたらその建物は使えなくなるのかということを決めるのが、ものすごく難しいのです。われわれはどうやっているかというと、建物を中心に地震工学を 30 年来研究してきて、ここに

4

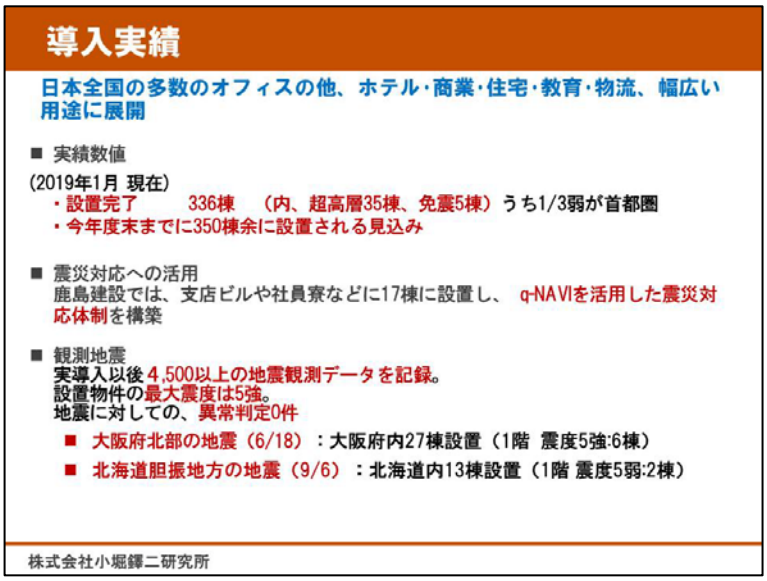
ついてはここまでいったら壊れるだろうということが分かるので、ここには自信があるということで判定基準を設定しています（図表 5）。

一番難しいのは、ここまで建物が壊れてしまっていたら、これ以上は中にいてはいけないという赤を出すところです。普通、工学者は、危険なことがあると怖いので、危険という判定を手前で出したくなります。われわれが構造設計をするときも、本当に壊れる危険があるというレベルに対し、安全率を見て結構手前に基準を持ってくることがあります。そういう、何となく危ないと思って設定した基準というのは、実は実験すると全然大丈夫ということがあります。そこでわれわれは、この装置を設置するときに、お客さまから構造計算書をお借りして、それをプロフェッショナルが読み、建物ごとに、ここまでなら大丈夫という判定基準を設定しています。そこが非常に難しいところで、データを測ることと、それに付随したデータがくっついてこないと、役に立つものができないのではないかと思っています。

5

2015 年ごろからこの装置を付け始めて、2019 年 1 月時点で 336 棟に付いています（図表 6）。多いと思うか少ないと思うかは皆さん次第ですが、われわれの業界からいえば、かなり頑張っている方だと思います。最近もたくさんお声掛けいただいているのですが、付けていく側の手が足りず、頑張って徐々に増やしているところです。鹿島建設ではこれを使って震災対策の計画を構築していますし、観測データも着々とたまってきています。

どのような感じで表示されるかというと、建物の管理者側には図表 7のような画面が表示されます。揺れが収まり、1～2 分するとこの画面がモニターに出て、各階がどれくらい揺れたか、現状の危険度がどれくらいかということが表示されます。黒い丸が三つ打ってあるのは、センサーとセンサーの差を使って判定するので、四つ付けると 3 カ所判定するということです。この例でいうと、B1 階と 3 階の間の丸が緑にあるのでその間は大丈夫、3 階と 8 階の間も緑に丸があるので大丈夫、上



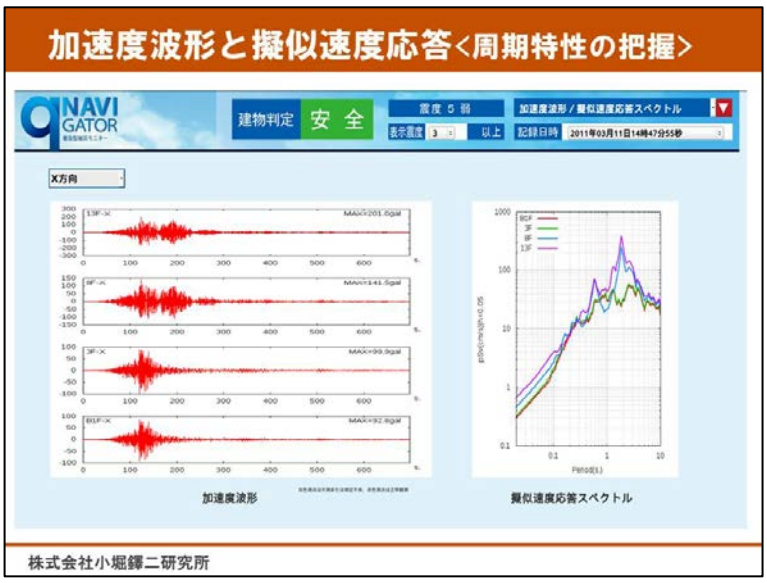
6

7

層階も大丈夫ということです。こういう見え方であれば、建物管理者にすぐ判断していただけるのではないかと思います。

一方で、プロフェッショナル用には、わざと隠し画面にしたデータを用意しています（図表 8)。先ほど、データが増え過ぎると訳が分からなくなってしまうのではないかという話がありましたが、その辺はわれわれも多少は知恵があります。普通に使う人には緑と黄色と赤だけをお知らせして、それとは別に隠し画面の方に詳しいデータを用意しておき、後からプロの構造設計の方が来る、あるいはわれわれのところにお問い合わせいただくということになったら、これでより細かい確認をしていくという仕掛けになっています。

このようにデータをたくさん測っていくと、遠い所から知りたいということになってきます（図表 9)。もちろん地震時ですから、すぐに伝わるかは分からないので、システム自体はスタンドアローンで、各建物の中で完結して、そこにいる人に



8

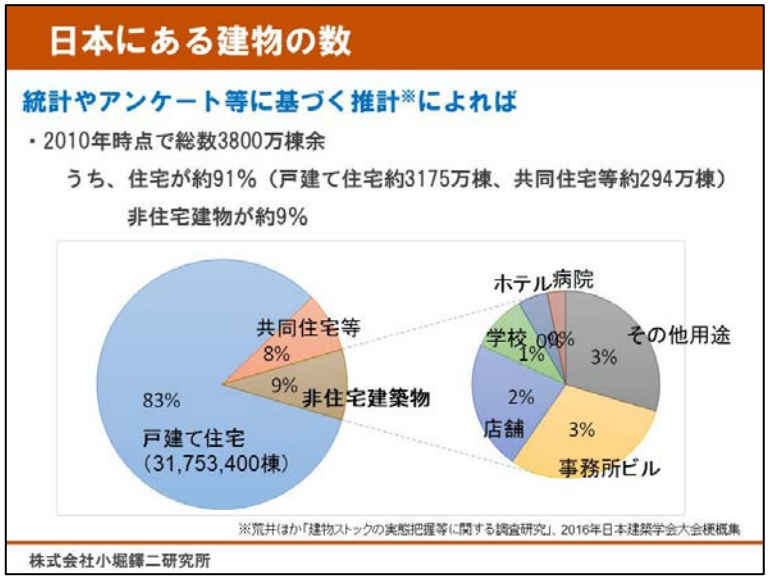
9

情報を伝えますが、併せて、このシステムは主に携帯電話の回線をつかって状況が監視できるようになっています。この手のシステムは普段使うものではないので、気が付くと止まっているということがあります。元々はそれを避けるために、毎日きちんと動いているかを調べる目的で監視システムを付けましたが、データを別に集約できるということで、皆さんの所で測ったデータをサーバーにも蓄積し、パスワード等で管理しながら、必要に応じてお見せするサービスとして商売をしています。

3.もっと建物の揺れを把握するには

q-NAVIGATOR の宣伝をしてきましたが、ここからは、西谷先生をはじめとするサブプロ（c）の方々に向けて、ぜひお願いしたいことを申し上げます。

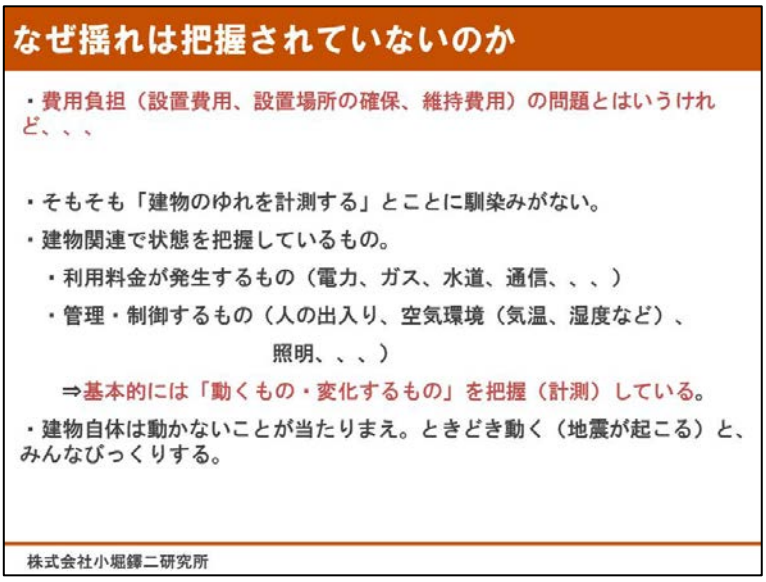
q-NAVIGATOR は約 300 棟に付いていると言いましたが、2010 年時点で、建物というのは日本中に 3800 万棟あるそうです(図表 10)。そのうち 9 割は住宅です。q-NAVIGATOR が相手にしているビル系は 1 割ということで約 380 万棟です。このうち 300 棟にしか付いてないということは、1 万棟に 1 棟しか付いていないということです。全てに付けなければいけないということではありませんが、まだまだこれから増える余地があるという話の一方で、なぜ付いていないのかということを考えてみました。



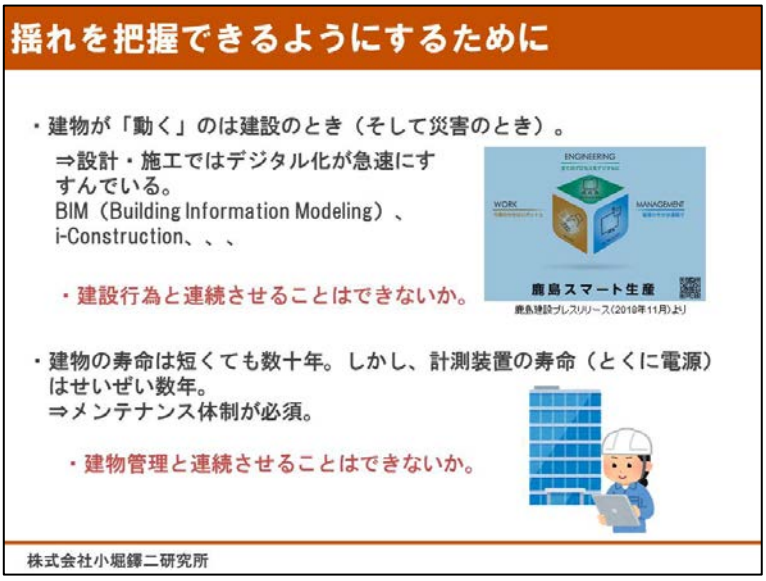
10

もちろん、費用がかかるというのはあります（図表 11）。しかし、建物周りでは既に計測してるものがたくさんあります。例えば電力やガス、水道、通信費などは、お金を取らなければいけませんから当然測っています。ちょっとしたビルであれば人の出入りを測っていますし、気の利いたビルだと温度や湿度を測って空調コントロールをします。では、なぜ揺れは計測しないのかというと、基本的には動くものを計測するからです。構造体というのは普段は動きません。動かないものが急に動くので、とても困ります。

では、測りにくいものをどのように測ればいいかということで、簡単ですがアイデアがあります。動かないと測れないなら動くときに測ればいいということです。建物が一番動く（変化する）ときというのは、建てるときです。壊すときも測りますが、やはり建てるときに一番測ります。建設業界、関係する鹿島建設も図表 12 のようなロゴを出して頑張っていますが、設計や施工というのは、ものすごく測る



11



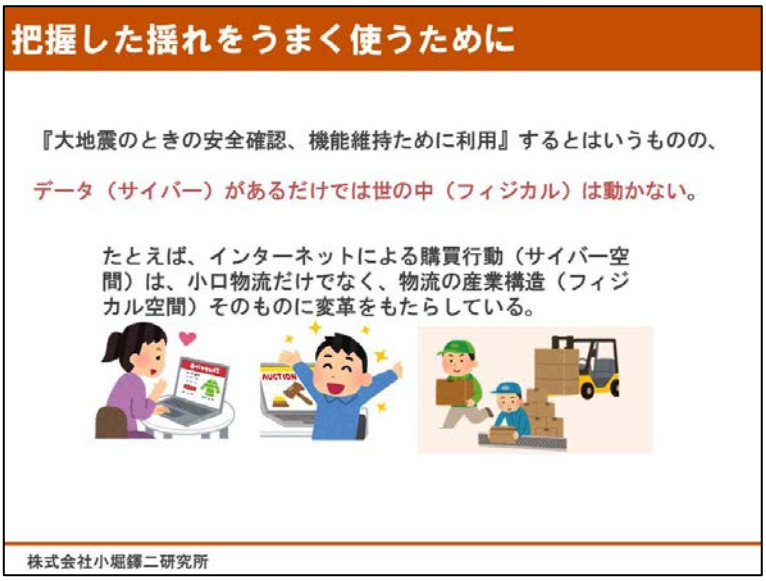
12

のです。施工するときは、やたら計測して、やたら写真を撮り、データをたくさん取っているのですが、大抵その書類は倉庫の中で眠っていて誰も見ません。こういうものも、これからデジタル化してつながっていけるので、一連の建設行為の中にデータを取るという仕組みを組み込み、使っているときもそれで測り続けるということになっていけば、普段の建物の動きを測ることにつながっていくのではないかと思います。サブプロ（c）の活動で揺れから安全性を確認するときは、その建物がどういう建物であるかという設計情報が絶対に必要なので、このようなことと関連する動きができていけば、物事はすごく進んでいくのだろうと思います。

4.揺れを把握してどうするのか

揺れを把握しても、データだけでは物事は進みません（図表 13）。例えば、インターネットで物を買うというのはすごい技術ですが、その裏では運輸会社が構造改革をしたり、実体の社会もそれを受け止める体制を作り続けています。

揺れを把握して安全を確認するというのも、研究者だけがやればいいことではなく、その裏で、揺れて何か不具合が起きたらデータを見ながら対応するという体制



13

を用意しておかなければいけません（図表 14）。ただ、地震はいつ来るか分かりませんし、ほとんど来ないと思っているものに人件費はかけられません。ですから、元々かかっている人件費を使って対応できる体制、日頃からデータを利用する枠組みを用意し、その中で「揺れ」を使っていくということを進めていけば、揺れの把握も進んでいくのだろうと思います。

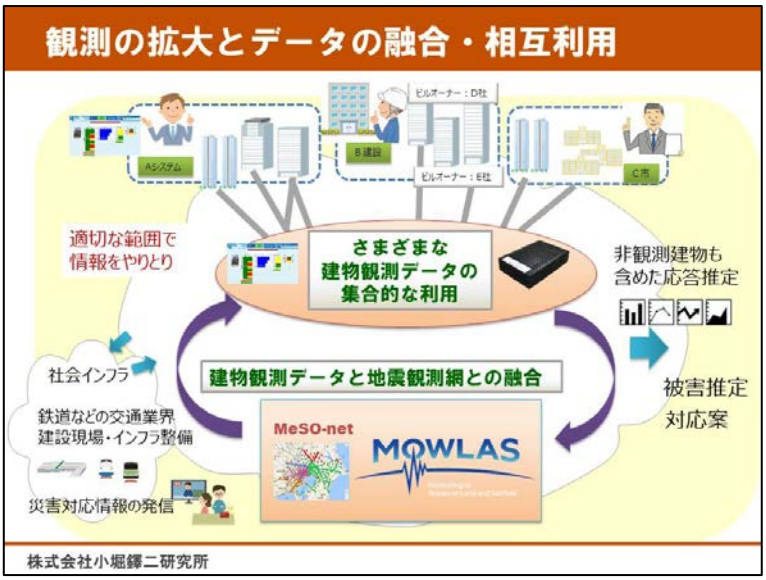
5.みんなで揺れを把握する

われわれは 300 棟で揺れを測っていますが、データというのは基本的にその建物の所有者のものなので、普通には使えません。しかし、災害に対して社会が強くなるために、全面公開するかどうかは別として、相互利用していけば、価値は出て

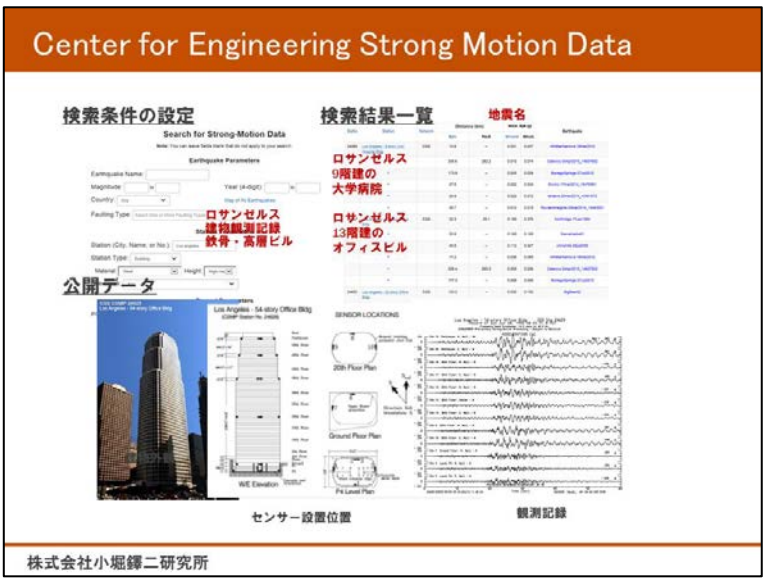
14

くるだろうと思います（図表 15）。q-NAVIGATOR で測ったデータを使って研究をしてもいいと言ってくださる会社もあり、そういう研究を進めています。

それが夢物語かというと、海の向こうのロサンゼルスではできています（図表 16）。ある程度以上の規模の新築の建物は全てモニタリングすることが義務付けられていて、データも公開されています。公開して何か悪いことがあるのかと彼らに聞くと、ないと言い切ります。ですから、日本でもきっとできるのではないかと思っています。



15



16