

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19

長周期地震動に関する情報のあり方
報告書（案）

平成 24 年 3 月

長周期地震動に関する情報のあり方検討会
気象庁地震火山部

1	目次
2	
3	1. はじめに
4	
5	2. 長周期地震動の影響をうける長大構造物の特徴や地震情報の課題
6	
7	3. 東北地方太平洋沖地震における長大構造物における揺れの実態調査か
8	らみた長周期地震動に関する情報の必要性
9	
10	4. 長周期地震動に関する情報のあり方
11	
12	5. 今後の課題
13	
14	6. 文献等
15	
16	

1. はじめに

地震動は、ガタガタとした短い周期の揺れと、ゆっくり繰り返す長い周期の揺れなど様々な周期で構成される。長周期地震動は後者を指し、マグニチュードが大きい地震ほど振幅が大きくなる傾向にある。高層ビルや、石油タンク、長大橋梁等の長大構造物は、周期数秒から十数秒の固有周期を有するため、大地震に伴って発生する長周期地震動によって大きな揺れを生ずることがある。平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震では、長周期地震動によって、首都圏や大阪府などで、高層ビルなどで大きな揺れが観測されたが、近い将来に発生が懸念されている南海トラフにおける巨大地震では、東京、名古屋、大阪等に立地している長大構造物に大きな揺れが生じることが懸念されている。

気象庁では地震発生後直ちに震度に関する情報を発表しているが、震度は周期数秒以下の地震動を処理して求めているため、長大構造物内の揺れの大きさや被害の程度を表現できない、という課題がある。長大構造物を有する地域における人的・物的被害の早期把握や、迅速かつ的確な災害応急体制の確立等を支援するためには、観測された地震動から、長大構造物内での体感や被害発生の可能性があるかどうかを分析し、一般の方や防災関係機関に揺れの大きさや特徴等を分かりやすい情報として発表することが有効と考えられる。

このため、今年度、有識者の参画を得て、長周期地震動に関する情報のあり方検討会を開催し、長周期地震動による長大構造物内での行動の困難さや不安感、生理的な影響などの人への影響や、高層ビル等での初動対応の状況を踏まえつつ、長周期地震動に関する情報のあり方について、情報の役割や内容の基本的な考え方、発表のタイミング等を中心にご意見を伺った。本報告書は検討会における議論をふまえ取り纏めたものである。

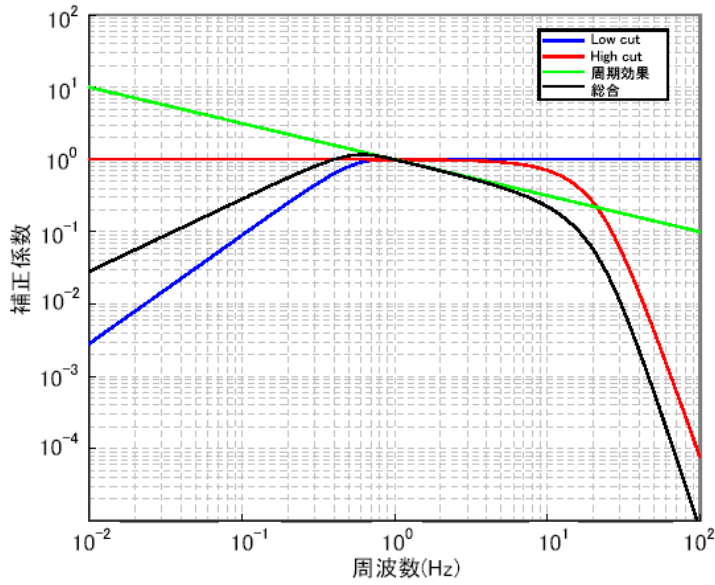
2. 長周期地震動の影響を受ける長大構造物の特徴や地震情報の課題

2-1. 長周期地震動と震度

気象庁が地震情報で発表している計測震度は、以下の手順で算出している。

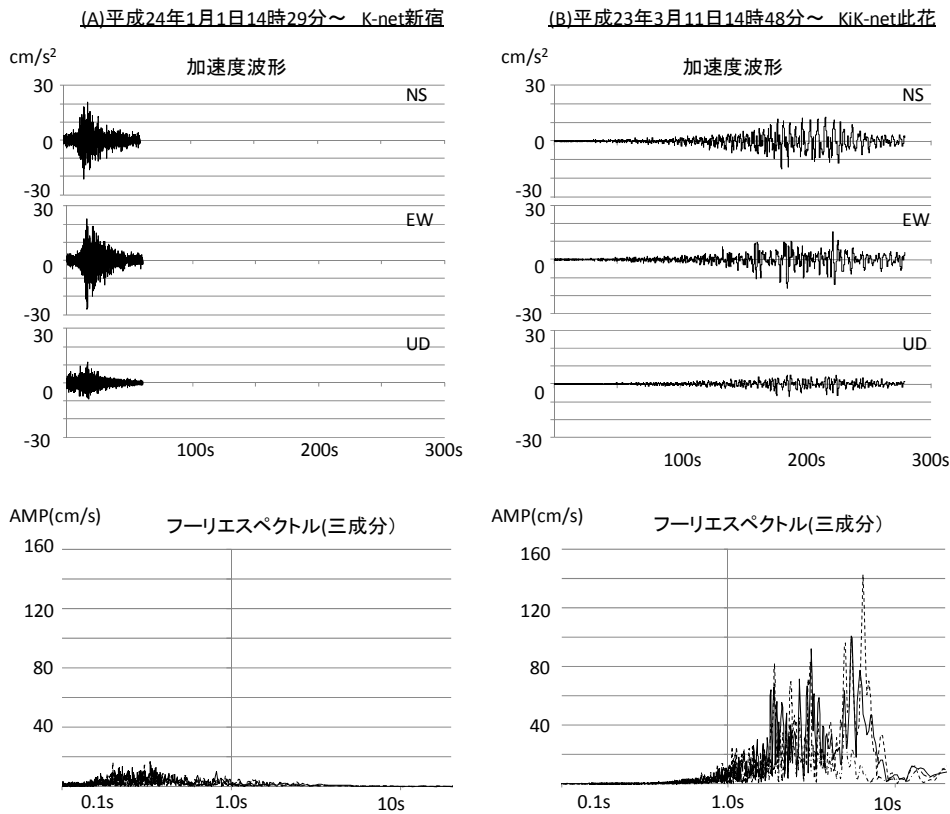
- ①加速度記録 3 成分（水平動 2 成分、上下動 1 成分）のそれぞれの フーリエ変換を行う。
- ②地震波の周期による影響を補正するフィルターを掛ける。
- ③逆フーリエ変換を行い、時刻歴の波形にもどす。
- ④得られたフィルター処理済みの 3 成分の波形をベクトル合成する。
- ⑤ベクトル波形の絶対値がある値 a 以上となる時間の合計を計算したとき、これがちょうど 0.3 秒となるような a を求める。
- ⑥⑤で求めた a を、 $I = 2 \log a + 0.94$ により計測震度 I を計算する。計算された I の小数第 3 位を四捨五入し、小数第 2 位を切り捨てたものを計測震度とする。

計測震度で用いているフィルターは周期 2 秒以上を逡減させている（図 1）。従って、長周期地震動が卓越した場合でも、⑤で求めた a が同じであれば、同一の震度と算出される。



1

2 図1 計測震度の算出に用いているフィルター



3

4 図2 震度3を観測した地点における加速度波形およびフーリエスペクトルの例

5

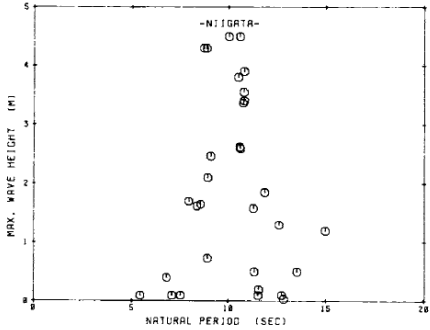
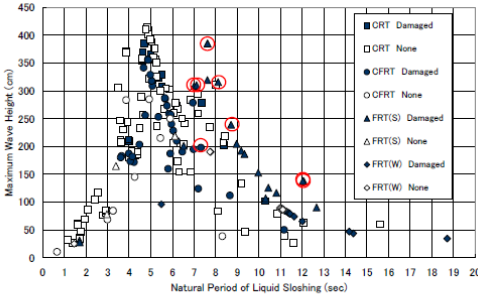
6 図2 (A) は鳥島近海で発生した M7.0 深さ 397km の地震において東京都内で平成 24 年 1 月 1 日 14
 7 時 29 分頃から、また、(B) は東北地方太平洋沖地震において大阪市内で平成 23 年 3 月 11 日 14 時 48
 8 分頃から観測された加速度波形およびそのフーリエスペクトルである。(A) は周期 1 秒以下の成分が、
 9 (B) は周期 1 秒以上、とりわけ 6~8 秒の成分が卓越し、また、(A) はほぼ数十秒で揺れが収まってい

1 るが、(B) は数分程度継続している。東北地方太平洋沖地震では大阪市内の 55 階建て高層ビル内で大きな揺れが観測され、内装材等の被害が発生したビルもあった¹⁾。一方、平成 24 年 1 月 1 日の鳥島近海の
 2 地震では、東京都内の高層ビルでは特段の揺れによる被害は確認されていない。しかし、いずれも計測
 3 震度に基づく震度階級は 3 となる。
 4

5 また、周期数秒程度以上の地震動の影響を受ける石油タンクでのスロッシングの高さと近傍で観測さ
 6 れた震度を比較すると、昭和 58 年（1983 年）日本海中部地震の新潟市内や、平成 15 年（2003 年）十
 7 勝沖地震の苫小牧市内で、4 m を超える大きなスロッシングが観測されているが、前者は震度 3、後
 8 は震度 5 弱であり、震度の大きさと石油タンクのスロッシング高の間に明瞭な関係は認められない（表
 9 1）。

10

11 表 1 震度の大きさと石油タンクのスロッシング高

地震および近傍の震度	スロッシング高のデータ
昭和 58 年（1983 年） 日本海中部地震 新潟 震度 3 最大スロッシング高 450 cm ²⁾	 <p data-bbox="630 1126 1037 1167">Fig. 4.4-3 Relation between maximum wave height and natural period of sloshing at Niigata.</p>
平成 15 年（2003 年） 十勝沖地震 苫小牧 震度 5 弱 最大スロッシング高 410 cm ³⁾	 <p data-bbox="630 1547 1109 1601">図 4 苫小牧における全タンクに対する屋根形式を考慮した最大波高予測値の分布と被害程度</p>

12

13 このように、震度を主体とした既存の地震情報では長周期地震動による揺れの大きさの表現が困難、
 14 という課題がある。このため、平成 8 年に気象庁が公表した震度階級関連解説表では、注意書きに、「(4)
 15 大規模な地震では長周期の地震波が発生するため、遠方において比較的低い震度であっても、エレベータ
 16 の障害、石油タンクのスロッシングなどの長周期の揺れに特有な現象が発生することがあります。」と
 17 記載し、平成 21 年の解説表の改訂でも、「大規模構造物への影響」という項目を設け、長周期地震動に
 18 による超高層ビルの揺れや石油タンクのスロッシングについては、別に解説を行ってきた。

19

1 2-2. 長周期地震動によって影響を受ける長大構造物

2 建築物の固有周期は、高さを H (m) として、例えば、鉄骨造では $0.0256 \times H$ 、鉄筋コンクリート造
3 では $0.0195 \times H$ で求められる⁴⁾。日本国内に立地する高層ビルで最も高いビルは約 300m であり、最大
4 で概ね 7,8 秒程度とみられる。また、概ね高さ 45m 以上 (概ね 14,15 階建以上) の建物では固有周期が
5 1 秒を超える。石油タンクにおけるスロッシングの固有周期は、タンクの直径を D (m)、液面高を HL
6 (m)、重力加速度を g とすると、 $2\pi \sqrt{\frac{D}{3.682g} \cdot \coth\left(\frac{3.682HL}{D}\right)}$ で求められる⁵⁾。同一直径のタンクでも液
7 の量によって固有周期は変化するが、日本国内に立地する石油タンクのうち最大のもは直径が概ね
8 100m 程度である⁵⁾ ため、固有周期は最大で 20 秒程度と考えられる。斜張橋や吊り橋は、概ね支間長が
9 200m で一次固有周期が 2 秒となり、支間長の長さが長くなると一次固有周期が長くなる⁶⁾。国内で最も
10 支間長の長い明石海峡大橋 (支間長、1991m) の一次固有振動数は 0.04~0.08 である⁷⁾。

11 このように、国内に立地する長大構造物の固有周期は最大でも 20 秒程度とみられる。

12 消防法第 8 条の 2 では高さ 31 メートルを超える高層建築物としている。建築基準法では、構造計算が
13 高さ 31m および 60m を境に異なり、高さ 31m 以下の建築物は許容応力度等計算などが、高さ 31m を超
14 え 60m 以下の建築物は保有水平耐力計算や限界耐力計算などが用いられ、また、高さ 60m を超える建築
15 物は時刻歴解析などを行った上で国土交通大臣の認定が必要となる。都道府県等の消防年鑑等によれば、
16 平成 23 年 3 月現在、国内には高さ 31m 以上の高層建築物が約 50,000 棟あり、うち、高さ 45m を超え
17 60m 以下の高層建築物は約 4,500 棟、高さ 60m 以上の超高層建築物 (国土交通省住宅局、2010) は約
18 2,500 棟である。

19 本報告では、長大構造物として概ね固有周期が 1,2 秒程度以上の構造物を対象に検討を行うこととし、
20 高層ビルとは、概ね高さ 45m 以上 (概ね 14,15 階建以上) のものを指すこととする。

21 1970 年代以降、大都市圏での再開発やいわゆるウォーターフロント開発によって、高層ビルが集中的
22 に立地する地域が認められるようになった (図 3)。高層のオフィスビルには数千人の在館者がいる場合
23 もあり、都市構造等の変化に伴って、近年、長周期地震動による揺れの影響を受ける人口が増加してい
24 る。

画像は国土地理院電子国土データより

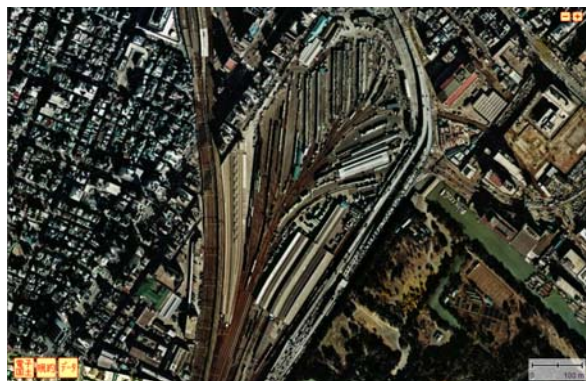
1978年



新宿



2009年



汐留



- 1
- 2
- 3
- 4

図3 東京都心における再開発等の状況

1 2-2. 長周期地震動によって長大構造物で被害が発生した地域

2 1980年以降の地震における長大構造物による主な被害を表2に示す。例えば、昭和58年(1983年)
 3 日本海中部地震では、震源域から数百km離れた東京の高層ビルでエレベータのワイヤーロープが損傷
 4 する⁵⁾など、長大構造物における揺れによる被害等は、震央から離れた地域でも発生している。また、
 5 平成12年(2000年)鳥取県西部地震では、震度1の東京都内の高層ビル内で揺れを感じた人が多かつ
 6 た、という報道もある⁸⁾。長周期地震動は、短い周期の波に比べ、遠方まで弱まらずに伝わり、平野や
 7 盆地の構造によって新たに励起、増幅されることがあるため、震央から離れた地域の長大構造物で思い
 8 がけない揺れに見舞われることがある。

9
 10 表2 1980年以降の地震における長周期地震動による主な被害⁵⁾

発生年	地震名(気象庁マグニチュード)	長周期地震動によって発生した主な被害と発生日点
昭和58年 (1983年)	昭和58年日本海中部地震 (Mj7.7)	石油タンクのスロッシング(秋田市、新潟市等)、高層ビルでの揺れによるエレベータワイヤーロープ損傷等(東京23区)
昭和59年 (1984年)	昭和59年長野県西部地震	高層ビルでの揺れによるエレベータワイヤーロープ損傷等(東京23区)
平成5年 (1993年)	平成5年(1993年)北海道南西沖地震 (Mj7.8)	石油タンクのスロッシング(秋田市、新潟市等)
平成7年 (1995年)	平成7年(1995年)兵庫県南部地震 (Mj7.3)	高層ビルでの揺れによる什器転倒等(大阪市等)
平成12年 (2000年)	平成12年(2000年)鳥取県西部地震 (Mj7.3)	高層ビルでの揺れによる什器転倒等(神戸市、大阪市等)
平成15年 (2003年)	平成15年(2003年)十勝沖地震 (Mj8.0)	石油タンクのスロッシング(苫小牧市等)、高層ビルの揺れによるエレベータワイヤーロープ損傷等(札幌市等)
平成16年 (2004年)	紀伊半島沖の地震(Mj7.1) 東海道沖の地震(Mj7.4)	石油タンクのスロッシング(大阪市、市原市等)、高層ビル内での揺れによる什器転倒等(大阪市等)
平成16年 (2004年)	平成16年(2004年)新潟県中越地震 (Mj6.8)	高層ビルでの揺れによるエレベータワイヤーロープ損傷等(東京23区)
平成23年 (2011年)	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震地震(Mw9.0)	高層ビル内での揺れによるエレベータワイヤーロープの損傷や什器転倒等(東日本から西日本の広い範囲)、石油タンクのスロッシング(東日本)

11
 12

1

2 3. 東北地方太平洋沖地震における長大構造物における揺れの実態調査からみた長周期地震動に関する
3 情報の必要性

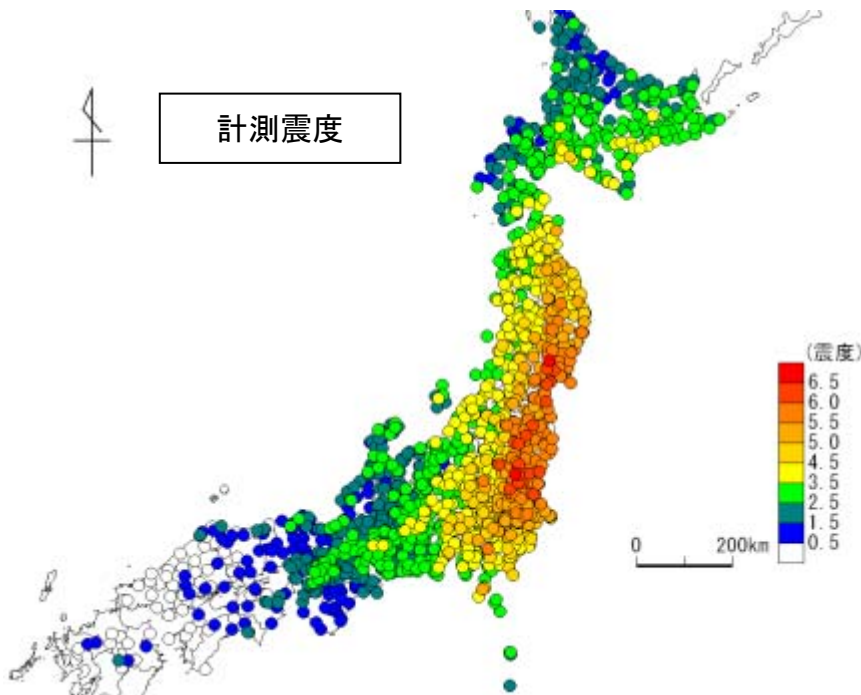
4 長周期地震動に関する情報の発表を検討するに当たって、利用者や利用目的、また、情報の発表のタイ
5 ミングや内容を検討する必要がある。そのためには、長周期地震動によりどのような被害が発生する
6 か、また、既存の地震情報で何が足りないのかを分析することが重要である。東北地方太平洋沖地震で
7 は、広い範囲で長周期地震動が観測されたため、高層ビル内における人の体感や、家具・什器等の転倒・
8 移動等の室内の様相および施設管理者等の対応の状況について、主として 20 階建以上のオフィスビルに
9 おいて対面方式による聞き取りおよびアンケート調査等を行った。

10

11 3-1. 東北地方太平洋沖地震における長周期地震動の特徴

12 平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震は、我が国での観測史上最大のマグニチュード 9.0 の巨
13 大地震であり、西日本から北日本の広い範囲で有感（図 4）となった。

14



15

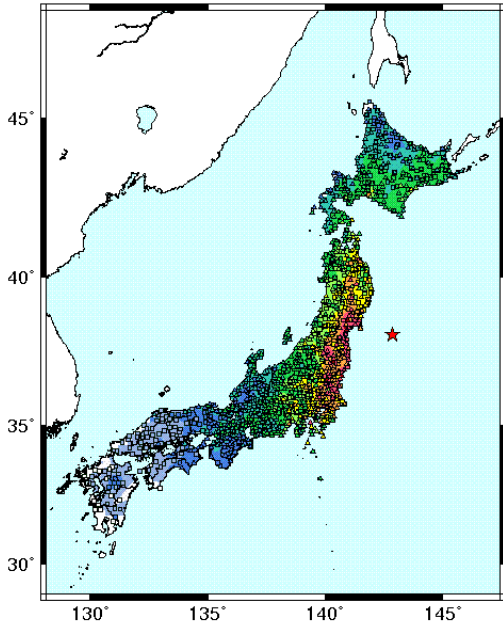
16

17 図 4 東北地方太平洋沖地震における震度分布図

18

19 防災科学技術研究所の強震観測網では、周期 2 秒以上の速度応答スペクトルが広い範囲で数十 cm/s 以
20 上となるなど、各地で長周期地震動による揺れが観測された（図 5）

Velocity Response(1.0 Hz) Contour Map

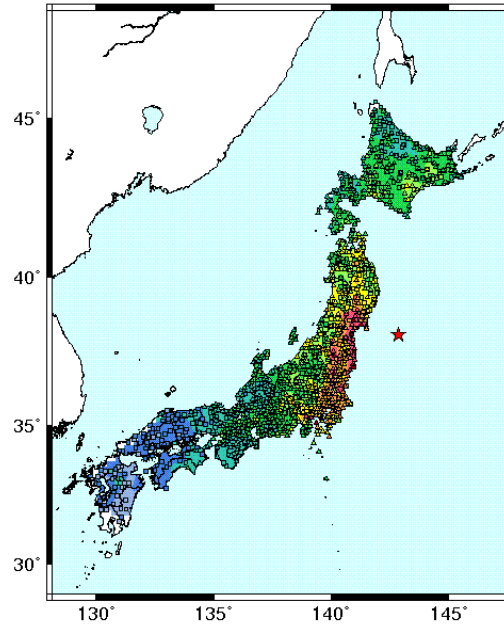


2011/03/11-14:46 38.103N 142.860E 24km M9.0

K-NET **NIED**

KIK-net **NIED**

Velocity Response(0.5 Hz) Contour Map



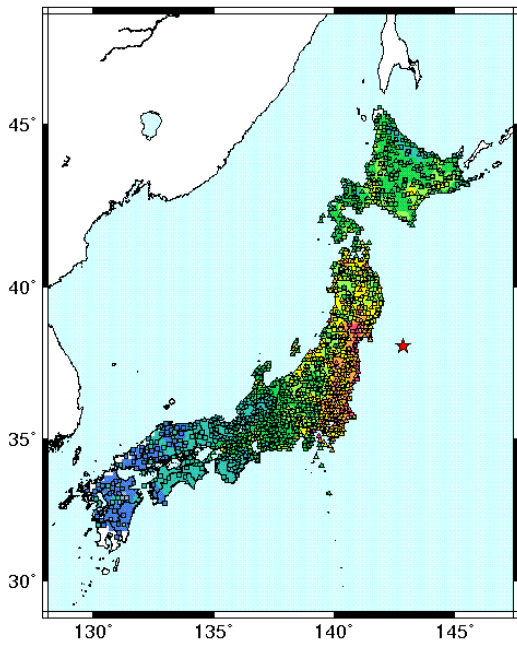
2011/03/11-14:46 38.103N 142.860E 24km M9.0

K-NET **NIED**

KIK-net **NIED**

1

Velocity Response(0.25 Hz) Contour Map

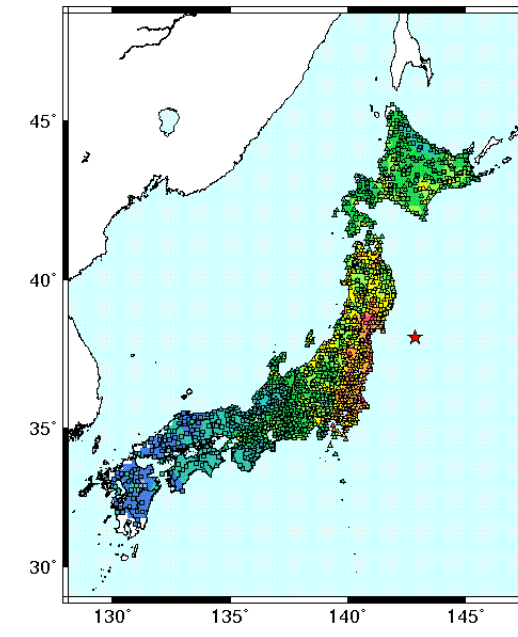


2011/03/11-14:46 38.103N 142.860E 24km M9.0

K-NET **NIED**

KIK-net **NIED**

Velocity Response(0.25 Hz) Contour Map



2011/03/11-14:46 38.103N 142.860E 24km M9.0

K-NET **NIED**

KIK-net **NIED**

2

3 図5 防災科学技術研究所強震観測網における速度応答スペクトル分布図

4 左上 周期1秒；右上 周期2秒；右下 周期8秒；左下 周期4秒

5

1 3-2. 長周期地震動による高層ビル内の揺れの状況

2 3-2-1. 揺れの体感に関する聞き取り調査結果

3 東京都内や大阪府内の高層階にいた方の聞き取り調査では、揺れの体感について、以下のような回答
4 が得られた。

5 **【揺れの感覚】**

- 6 ・船に乗っているような感じ
- 7 ・最初円をかくようになって、次第に大きく回る感じ
- 8 ・足元の床が無くなるのではないかと、というような感じ 等

9 **【揺れの長さ】**

- 10 ・非常に長かった
- 11 ・いつ終わるとも知れなかった 等

12 **【行動の困難さ】**

- 13 ・物に掴まりたいと思った
- 14 ・物に掴まっても立っていられなかった
- 15 ・椅子から降りて這いつくばった 等

16 **【恐怖感】**

- 17 ・死ぬほど怖かった
- 18 ・悲鳴が聞こえた
- 19 ・ガタガタという揺れに比べ、特に怖さは感じなかった 等

20 恐怖感については、「過去経験の無い揺れだった」と証言されるのに加え、「窓から外を見ると隣
21 のビルがぶつかりそうになるくらい揺れていて怖かった」「スライド式書架が左右に大きく移動し、
22 ぶつかり合う音が大きく響いていたことが怖かった」という視覚、聴覚による状況や、「何かかき
23 しむような音が聞こえ、ビルが壊れるのではないかと思ひ怖かった」など事態悪化を想像させる
24 状況で恐怖が増したとの回答があった。

25 **【生理的な様相】**

- 26 ・船酔いのように、吐き気がするなど、気分が悪くなった
- 27 ・めまいのような感じが長く続いた 等

28

29

1 3-2-2. 内装材の破損や家具、什器等の移動・転倒に関する聞き取り調査結果

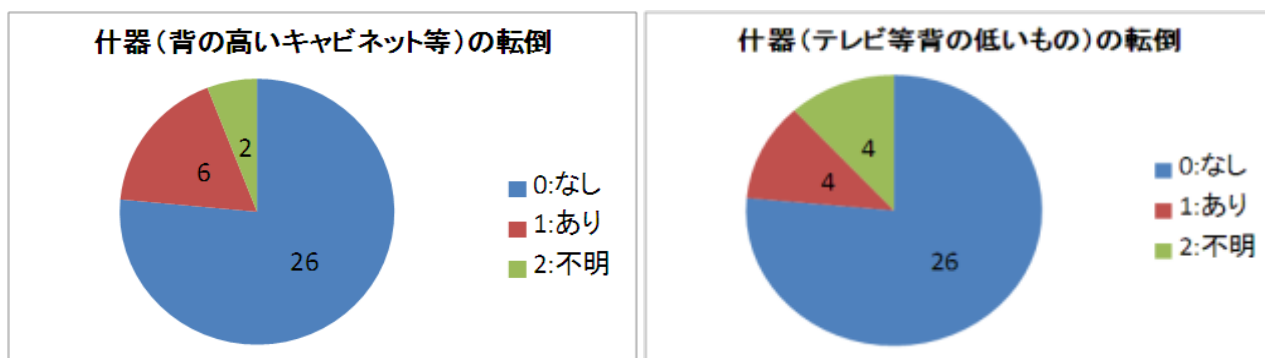
2 東京都内の34棟の高層ビルにおける内装材の破損や家具、什器等の移動・転倒について、聞き取り調
3 査では以下のような結果が得られた(図6)。

4

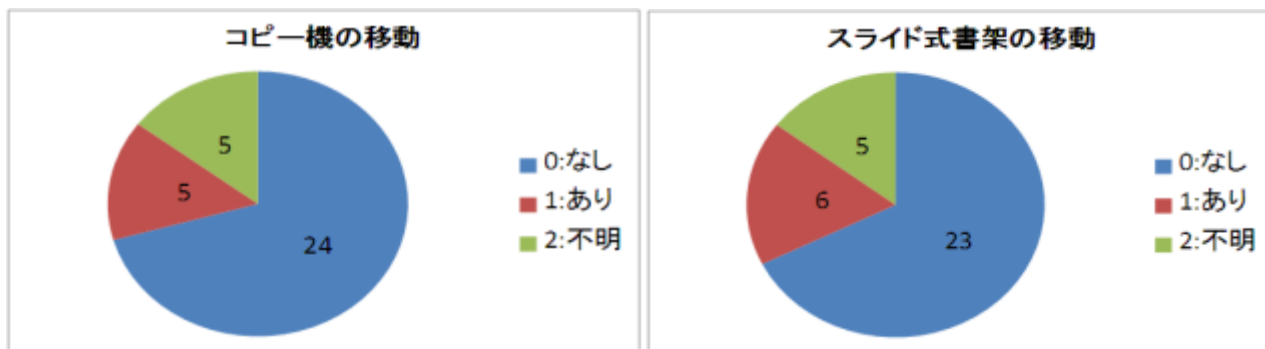
5



6



7



8 図6 高層ビル内における内装材の破損や家具、什器等の移動・転倒に関する聞き取り調査結果

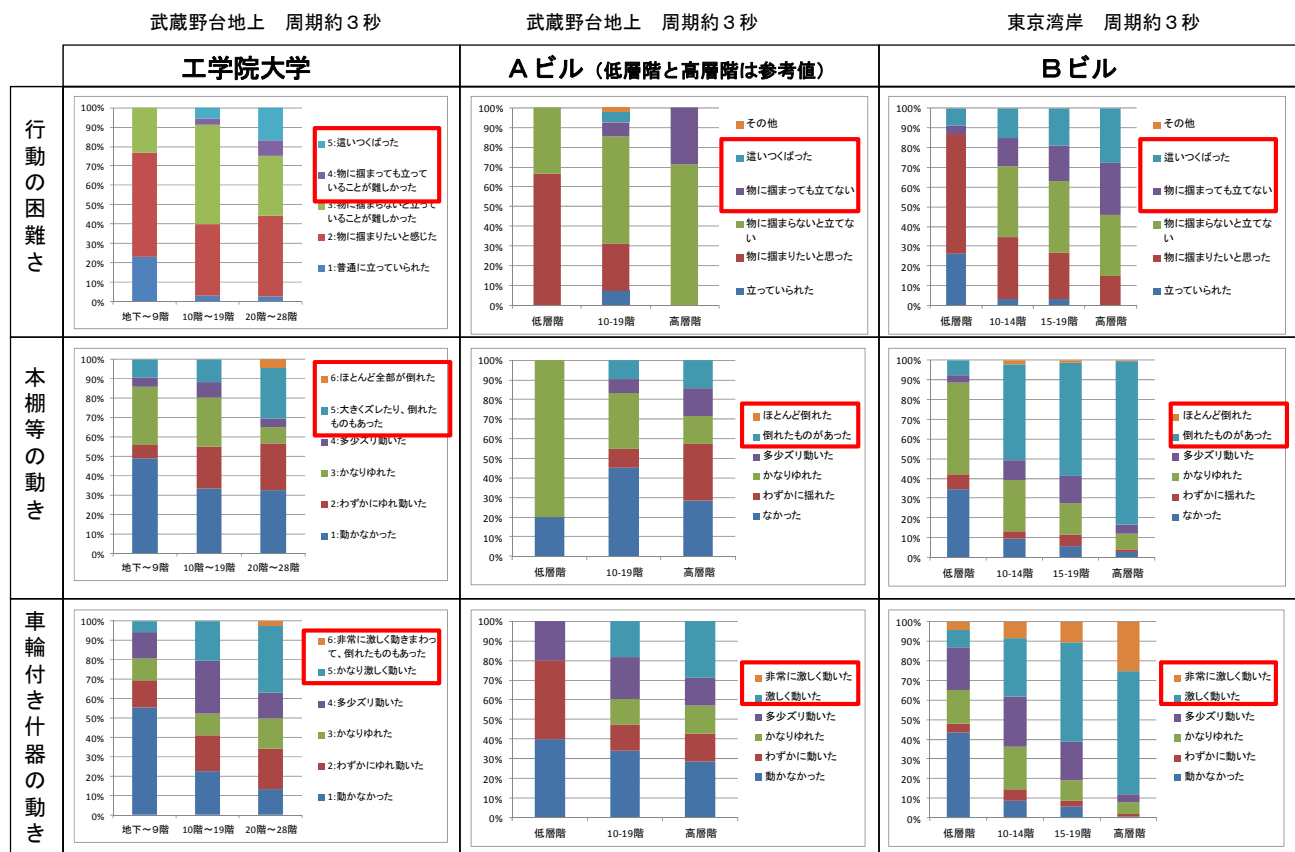
9

10 多くの高層ビルで、内装材に亀裂が生じるなど、軽微な損傷が認められた。固定していない什器の転
11 倒は見られたものの、大多数のビルでは什器の転倒は見られなかった。今回はオフィスビルを対象に調
12 査を行ったが、転倒しなかった理由について、「消防署等の指導を受け、特に高層階に対しては耐震固定
13 の徹底を呼びかけている」「什器は作り込みになっており、転倒は生じない」「液晶テレビが普及し、置
14 き型ではなく、壁に固定するなど、不安定な置き方をしていない」といった回答があった。

15

16

1 3-2-3. 低層階と高層階における体感や家具、什器等の転倒の違いに関するアンケート調査結果
 2 高層ビルでは低層階と高層階との揺れの大きさを調査するため、低層階から高層階にかけての館内に
 3 いた方へアンケート調査を行った。その結果、アンケート調査を行ったいずれのビルにおいても、低層
 4 階から高層階になるにつれ、行動が困難になったり、本棚や車輪付き什器等の動きが大きくなる、とい
 5 った傾向が認められた (図7)。



6 図7 高層ビル内の揺れの状況に関するアンケート調査結果

7
 8
 9 低層階にある防災センター職員への聞き取り調査でも、低層階にある防災センターで高層階の揺れの
 10 大きさを認識出来たか聞いたところ、震度 5 弱だったので高層階では揺れが大きいと思ってはいたもの
 11 の、館内を巡視している職員から「立ってられない」などの連絡があり、想像以上の揺れに驚いた、
 12 といった回答が多かった。

13
 14 3-2-4. 高層ビル内での揺れの時間変化に関する聞き取り調査結果

15 東京都内の軒高 100mクラスの高層ビルにおいて什器が転倒した室内にいた二人の方から揺れの時間
 16 変化について話を伺った。その結果、高層ビル高層階では、揺れ始めてから揺れが大きくなるまでの時
 17 間があったが、大きな揺れになってからでは身動きが出来ず、固定していない本棚等が一斉に倒れるな
 18 ど、危険回避行動が困難な状況となっている。揺れが収まってから地震情報を見ても、発表されている
 19 地上の震度とは次元が違う揺れと感じたり、発生した地震をなかなか理解できなかった、ということが
 20 分かった。

1 <聞き取り調査結果>

2 【揺れ始め～揺れが次第に大きくなる時間帯の揺れ】

3 ・ A氏：少し大きな地震だ、と感じていたところ、次第に揺れが大きくなり、本棚がガタンガタンと
4 動き始めたので、広いスペースに逃げた。

5 ・ B氏：ちょっと大きな地震だ、と同僚と話した後、椅子に座っていたら、周囲の本棚が揺れ始め、
6 抑えようと必死に手を伸ばした。

7 【最も大きな揺れの時間帯の揺れ】

8 ・ A氏：床に胡坐をかいて座っていても体が前後に揺さぶられ、四つん這いにならないと安定を保て
9 なかった。机の上に乱雑に置いたものは落ちていなかったが、しばらくすると、本棚が一斉
10 に倒れた。

11 ・ B氏：さらに揺れが大きくなって、机の下のキャスターがついた FAXなどが動き、背後から本棚が
12 倒れてきた。倒れ方がゆっくりだったため当たっても衝撃は少なかったが埋もれてしまった。

13 【次第に揺れが収まる時間帯の揺れ】

14 ・ A氏：本棚の下敷きになった人がいたので、声を掛けた。

15 ・ B氏：本棚を動かすことは出来ず、身体をよじりながら抜け出した。みんなで声を掛けた。

16 【不安感や、揺れている時間の長さ、生理的な感覚】

17 ・ A氏：揺れは兎に角長く、気持ち悪くなる揺れだった。

18 ・ B氏：怖くて手がぶるぶる震えた。

19 【地震情報を見聞きしたときの違和感】

20 ・ A氏：宮城県沖での地震とあったが、あまりにも大きな揺れで首都直下地震かとも思い、当初どの
21 ような地震か理解できなかった。

22 ・ B氏：震度情報をみると、震度 5 弱となっていたがこれまで経験した震度 5 弱とは次元が違い、自
23 らが感じた揺れの大きさとその震度が全く一致しなかった。

24

25 3-2-5. 地震時の防災センター職員の対応行動に関する聞き取り調査

26 東京都内や大阪府内の高層ビルの防災センター職員等の対応行動に関する聞き取り調査を行った。そ
27 の結果、発表された震度からは高層階での揺れの大きさや被害を認識できず、初期対応に多少の混乱が
28 認められること、また、観測された震度を初動対応の開始の基準としており、概ね震度 3 や 4 など館
29 内の巡視等を行うこととしているが、長周期地震動が大きい場合、日頃経験している初動対応の開始時
30 と状況が異なっており、意識を切り替えるのに苦慮していたことが分かった。

31

32 <聞き取り調査結果>

33 【館内の点検基準】

34 ・ 震度 3 ないし 4 を基準として館内の点検等に入る（調査を行った全てのビル）

35 【初動対応の内容（図 8）】

36 ・ テレビ、インターネット等からの地震情報の収集

37 ・ 設備等のアラームの確認

38 ・ 館内放送の実施

- 1 ・施設内の点検（エレベータが停止しているため、最上階まで徒歩で確認）
- 2 ・エレベータ会社への連絡
- 3 ・テナントへの連絡と被害情報の集約

4

5 【館内放送の実施状況について】

- 6 ・エレベータが停止するような状況のときは、館内放送を実施することとしており、3月11日当日も
- 7 放送した。
- 8 ・地表階の加速度計による震度を基準に放送しており、東北地方太平洋沖地震では基準に達しなかつ
- 9 たことから放送を行わなかったが、高層階で大きな揺れがあったのになぜ放送しなかったのか、と
- 10 問われ、以後基準を下げて放送することにした 等
- 11 なお、館内放送は、全館一斉放送であるため、地震だからといって頻繁に流すと飲食店等のテナン
- 12 トなどから苦情が寄せられる、といった回答もあった。

13

14 【当日の対応で苦慮したこと】

- 15 ・震度3なのに様々なアラームが鳴って、そんなに揺れていないのだが、と初め不審に思った。
- 16 ・防災センターではほとんど揺れを感じなかったが、高層階のテナントからひどく揺れたという電話
- 17 連絡があったため館内放送を行った。
- 18 ・テナントとは通常外線でやりとりするが、輻輳で全く通じなかった。中で什器が倒れていたという
- 19 情報は後で分かったが、それほどの揺れだったかな、と思った。
- 20 ・高層階を巡回中の職員から、立ってられないほど、という連絡があり、普段でも防災センターは
- 21 揺れを感じにくく、初めは何が起きているのかよく分からなかった。
- 22 ・高層階の管理事務所から、低層階の防災センターに「異常はないか報告を」との要請があったが、
- 23 揺れていないので不審に思った。
- 24 ・震度4なのになぜエレベータを直ぐ復旧しないのか、といった苦情が寄せられた。長い揺れだった
- 25 のでワイヤーの状況を考えて確認もせずに復旧できないため、説明に苦慮した。
- 26 ・宮城県沖の地震なのに、何故揺れが大きいというのか理解できなかった。 等
- 27 なお、ビル内に設置した加速度計を活用した安全判定システム等を運用している所ではシステムが
- 28 有効であった、との話もあったが、継続使用の可否については、管理者だけでは判断できず施工者
- 29 や設計者などの専門家の確認が必要との声も聞かれた。

30 【後日の対応で苦慮したこと】

- 31 ・震度5弱だったが館内の設備に被害が多く、テナントから「宮城県沖の地震で、震度5弱なのにな
- 32 ゼこんなに被害が出たのか」と言われ説明に苦慮した。 など

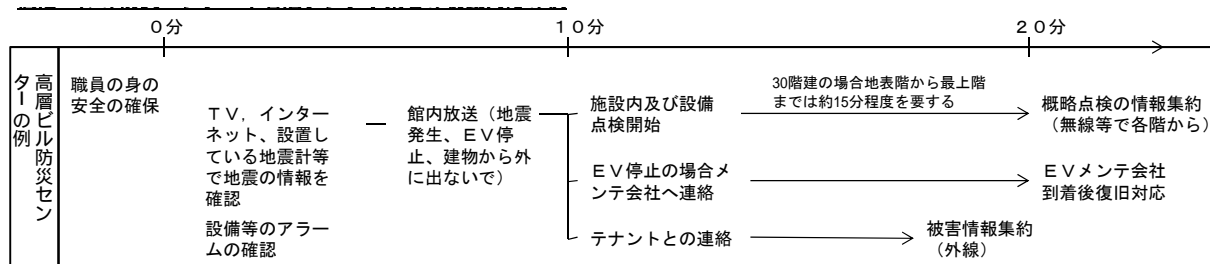


図8 高層ビルの防災センターにおける初動対応の例

3-3. 地震情報の課題と長周期地震動に関する情報の必要性

気象庁が発表する地震情報には、初動対應用情報（非常参集基準、点検開始基準 等）、災害応急対應用情報（被害の大きい地域の判別 等）、状況を確認するための情報（揺れの大きさの理解・認識 等）の役割がある⁹⁾。

聞き取り調査やアンケート調査では、高層ビルでは階数が増えるにつれて行動が難しくなり、また本棚等の家具や什器の転倒・移動が増加し、また、高層ビル内では周期の長いゆったりした揺れや継続時間に起因するとみられる船酔いのような生理的な影響が発生している。これらの揺れによる影響は、日頃見聞きし、かつ、揺れの経験の頻度が高い震度ではイメージしにくいため、長周期地震動による揺れがあったことが分かる情報があれば、高層ビル内の方々の体感した揺れの状況の理解に繋がると期待される。また、低層階の防災センターでは高層階の揺れの大きさを認識しにくく、初動対応の行動開始基準として用いられている震度に加えて、高層階における揺れの大きさや室内等での家具・什器等の転倒・移動など被害の発生可能性等を認識出来る情報があれば、施設管理者におけるさらなる的確な対応に繋がると期待される。

このため、住民、施設管理者、防災関係機関等の方々が、日頃見聞きし、かつ、揺れの経験の頻度が高い地表の揺れに対応した震度に加えて、長周期地震動による長大構造物内での行動の困難さや不安感、生理的な影響や、室内での家具・什器等の転倒・移動など被害の発生可能性について認識出来るような情報が必要であると考えられる。

1 4. 長周期地震動に関する情報のあり方

2 ここでは、長大構造物内での行動の困難さや不安感、生理的影響、家具・什器等の転倒・移動など
3 の被害の発生可能性について広く一般に発表する長周期地震動に関する情報のあり方の検討結果を示
4 す。

5
6 4-1. 長周期地震動に関する情報の基本的な方向性

7 長周期地震動によって揺れが大きくなった構造物内での行動の困難さや不安感、家具や什器等の転
8 倒・移動などの室内での被害の発生可能性を正しく伝える、長周期地震動に関する情報の役割および内
9 容について、基本的な考え方を以下に示す。

10
11 【長周期地震動に関する情報の基本的な役割】

- 震度と同様、被害や揺れの大きさについて、住民、施設管理者、防災関係機関に共通して理解される分かりやすいものとする。
- 機能（利用者の行動）は、それを見聞きし即時的にどのような防災対応を執るべきかの判断に役立つ情報として、また日頃の備えの目安として語られる情報として、現行の地震情報と同様な役割を想定する。

12 【長周期地震動に関する情報の内容についての基本的な考え方】

- 建物内の家具等の転倒・人の行動しにくさなどを一般にも分かりやすくし、かつ、既に一般にも十分に浸透している震度情報との関係性を可能な限り確保する。
- 速やかに発表する内容は、非常時の情報過多による混乱を与えない範囲で最小限のものに抑える。

13
14 4-2. 長周期地震動に関する情報の対象周期

15 1-2. で示したように、国内に立地する高層ビルや石油タンク、長大橋の固有周期は最大 20 秒程度
16 とみられる。このうち、長大橋と高層ビルでは、人が、長周期地震動による構造物の揺れによって、直
17 接、行動の困難さや不安感等を生じることがある。高層ビルは大都市圏等に多数存在し、また、一棟あ
18 たりりの在館者数が数千人以上となる場合があり、長周期地震動による構造物の揺れの影響を受ける人数
19 が他の長大構造物に比べて遙かに多い。地域内における長大橋や石油タンク施設の管理者は、数機関で
20 あるが、高層ビルの管理者は多数存在する。大きな揺れに見舞われた場合、被害状況は、石油タンクや
21 長大橋は監視カメラ等で把握することが出来るが、高層ビルでは、地震時にエレベータが停止すると高
22 層階まで徒歩で点検しなければならないなど時間を要することが多い。

23 揺れの影響を受ける人数、初動対応等が必要な機関数から、高層ビルは長大橋や石油タンクに比べ多
24 数のユーザーが存在し、また、被害状況の把握のしにくさがあることから、初動対応に際して、長周期
25 地震動によるビル内の揺れの状況が認識できる情報が必要である。このため、長周期地震動に関する情
26 報は、高層ビルに大きな影響を及ぼす概ね 1,2 秒から 7,8 秒程度までの周期帯を対象とする。なお、この
27 周期帯は、都市部に多い支間長 700m クラスまでの斜張橋や吊橋、数万 kl クラスの浮き屋根式タンクも
28 対象範囲となるため、これら施設管理者の防災対応の支援にも有効となる。

29

1 4-3. 長周期地震動に関する情報の発表に資する地震動の分析手法

2 長周期地震動の評価に有効な分析手法は数多くあるが、情報への利用のしやすさ、計算の速さ、過去
3 の被害等との調査のしやすさなどに一長一短がある（表3参照）。一つの分析手法だけではなく、複数を
4 組み合わせることも有効であると考えられる。

5 例えば、迅速かつ単純な情報を発表する手法としては、例えば、高層ビルでの体感の大きさや被害発
6 生可能性について、最大地動速度や最大地動変位を用いて閾値を設定し、震度と組み合わせ、震度3や
7 4を観測した地域で閾値を超えた最大地動速度や最大地動変位が観測された場合に情報を発表する、と
8 いった手法も考えられる。また、詳細な情報を発表する手法としては、固有周期に応じた構造物の応答
9 をモデル化した時系列に、人の体感・恐怖感や家具等の転倒と関連のよい指標を適用するといった手法
10 も考えられる。なお、長周期地震動の特徴の一つである継続時間を加味することも検討する。

11 長周期地震動に関する情報の発表には、各地で観測された地震波形を利用する。気象庁では現在、気
12 象庁が設置した震度計および多機能型地震計の地震動データをリアルタイムで収集しており、当面、こ
13 れらのデータが利用可能である。長周期地震動の評価には、通常の震度観測に比べ、長い地震動データ
14 の収録時間が必要であり、データの伝送、処理および収録の手法についてもさらなる検討が必要である。

15

1 表3 長周期地震動の評価に有効な分析手法

2

長周期地震動の評価に有効とされる解析手法	内容	計算時間	メリット	課題
地動最大速度、最大変位	震度が用いている加速度に比べ長周期地震動によって大きくなる。長周期構造物の設計等には最大速度が用いられ、また、周期2秒以上の建物の応答には変位が相関が良い、との研究結果（小林・長橋、1978）がある。	数分以内（震央と観測点の位置によって異なる）	<ul style="list-style-type: none"> ・波形を迅速に入手できれば、計算時間が短い。 ・構造計算等の過去の実績が多く、指標等の作成時に調査がしやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・震源域近傍でも大きくなるため、指標だけでは長周期地震動のみの影響を取り出せない。 ・波形がないと過去の地震による評価がしにくい。 ・従来、高層ビルの構造への影響等については評価されてきたが、新たに高層ビル内の体感やビル内の被害等との関係について検討する必要がある。 ・継続時間は評価できない
長周期成分を考慮した組み合わせ震度、震度指標（清野ほか（1998）、第2回検討会小鹿委員資料）	速度や変位、また震度フィルターを長周期側まで伸ばしたものをを用い、計測震度と同様の数値を得る。長周期地震動が大きい場合、計測震度に比べ大きな値が算出される。	数分～十数分以内	<ul style="list-style-type: none"> ・絶対値で表現できるので、指標等への利用がしやすい。 ・震度との差が分かりやすい。 ・最大値を取る時間を延ばすと、継続時間を考慮可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・震源域近傍でも大きくなるため、指標だけでは長周期地震動のみの影響を取り出せない。 ・波形がないと過去の地震による評価がしにくい。 ・新たな「震度」を用いることで、従来の震度との混乱が生じるおそれがあるのではないか。 ・高層ビル内の体感やビル内の被害等との関係について検討する必要がある。
1自由度系の応答スペクトル、フーリエスペクトル	地震動の周期毎の強さをスペクトルとして表す。	数分	<ul style="list-style-type: none"> ・対象とする周期帯での地震動の大きさを評価しやすい。 ・構造計算等の過去の実績が多く、指標等の作成時に調査がしやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・スペクトルを情報化することは、情報内容が複雑かつ膨大となり、そのままでは難しい。 ・波形がないと過去の地震による評価がしにくい。 ・スペクトル強度と高層ビル内の体感やビル内の被害等との関係について検討する必要がある。 ・継続時間は評価できない

3

4

4-4. 長周期地震動に関する情報の発表のタイミングおよび内容

顕著な地震が発生した場合、緊急地震速報に始まり、地震および地震動については、震度速報、震源・震度に関する情報、各地の震度に関する情報、推計震度分布図を、また、海域で発生した地震においては、津波予報（警報、注意報を含む）、津波観測情報を発表し、これらはテレビ・ラジオにより随時伝達されている。

このように、地震直後に発表する情報量が多くなっていることから、利用者が優先度に応じて情報を適切に選択するとともに、発表する側も防災対応を鈍らせたり、伝達資源をオーバーフローさせたりしないよう、効率的、効果的な発表に努めるべきである。既存の多種類の情報が発表される中、長周期地震動に関する情報の発表のタイミングや内容は、利用者が情報の選択で混乱しないようにしなければならない。

気象庁が発表する地震および津波に関する情報で最も重要なものは、直ちに警戒避難が必要な緊急地震速報（警報）と津波警報・注意報および津波情報であり、次いで被害状況の迅速な把握に資する震度に関する情報である。長周期地震動に関する情報の発表にあたっては、出来る限り既存の情報体系の中に簡潔に組み込むことが必要である。また、長周期地震動の継続時間が長いことを考慮すると時間と共に詳しい情報を提供することも可能であるが、防災に効果的な情報とするため、高層ビルを揺らす長周期地震動が発生している、という迅速で簡潔な情報と、高層ビル内での体感や被害発生可能性を示す情報などより詳しい情報の二段階に分けて発表することが考えられる。

例えば、地震発生から約 5 分後から発表する地震情報において、震度速報で発表する地域毎（〇〇県北部等）に、高層ビルに影響があるとみられる長周期地震動が発生していることを発表し、さらに、詳しい情報を必要とする利用者に対して、一連の地震情報の発表が終了した後、インターネットHPや携帯端末等で観測地点毎に、被害発生可能性や揺れの大きさ等の指標や継続時間など、より詳細な情報が見られるようにする。つまり、揺れの全体像に関する即時的な Push 型情報と、地点毎の情報を提供する Pull 型情報という段階的な伝え方が考えられる（図9）。なお、地点毎の情報についても Push 型情報での提供を求めるユーザーもあると考えられる。このようなニーズに対しては、民間の情報配信事業者等の役割が期待され、気象庁においては、民間の情報配信事業者等が利用しやすい形での情報の配信も検討する必要がある。

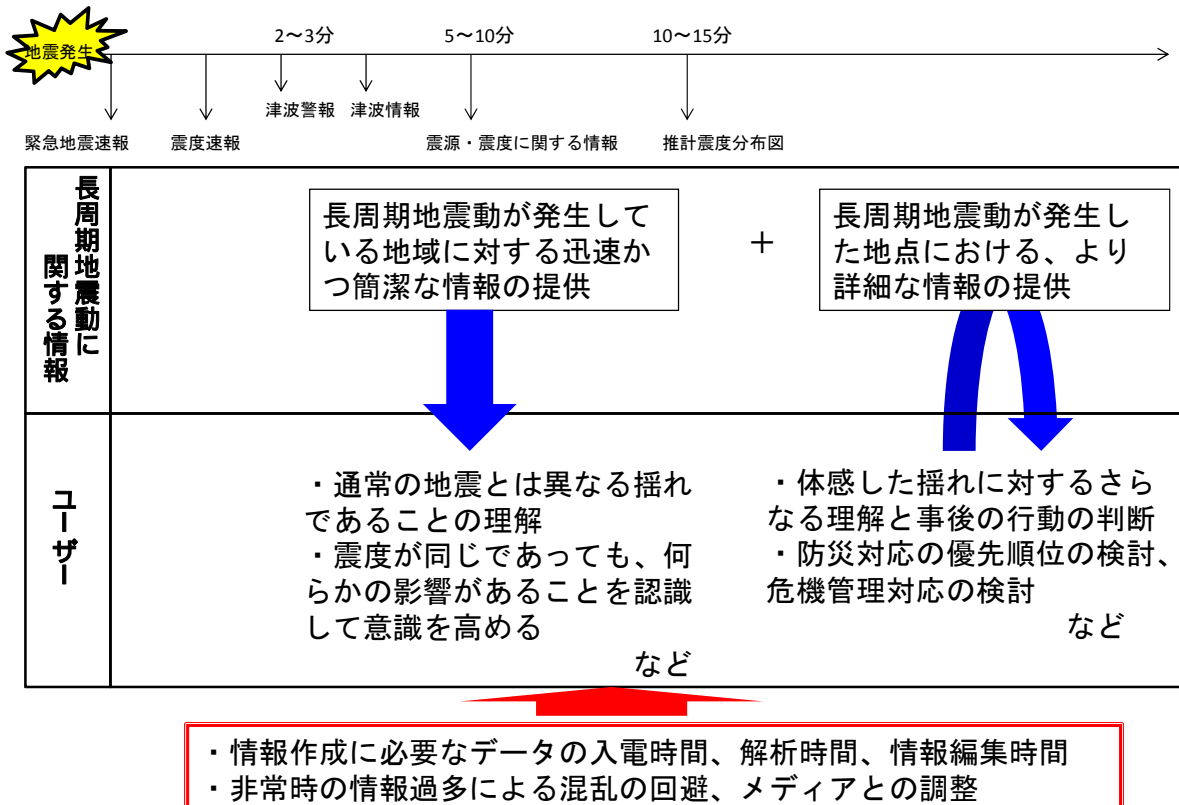


図9 長周期地震動に関する情報の発表のタイミングおよび内容のイメージ

情報の内容は、TVのテロップで流すのか、放送原稿の参考にさせていただけるようにするのか、何らかのアラームとして用いるのか、凶情報とするのか、によって異なる。長周期地震動による高層ビル内の揺れは、震度とは異なる体感や被害を生じるため、その状況を分かり易くすることが必要である。また、長周期地震動による高層ビル内での体感や室内の様相について、震度階級と類似した指標、解説等があれば分かりやすい、ということも考えられるが、高層ビル内での揺れの大きさと被害発生については、未だ不明な点も多い。

このため、まずは、「大きく揺れる」「家具等の転倒の可能性がある」などの文章表現を用いるなど、構造物内の揺れの大きさをイメージしやすく簡潔な表現での発表を検討する。構造物内の揺れの大きさとの関係などについて、広く共通して理解されてきた震度と震度階級関連解説表が示す体感および室内の様相を、長周期地震動に関する情報内容や表現においても参考にすべきである。長周期地震動による被害の実態と地震動の大きさとの関係を、震度との違いなどは混同しないよう明確にしつつ、さらに調査・整理していくことが必要である。

4-5. 施設管理者、防災関係機関等の特定ユーザーに対するデータ提供等

高層ビルの施設管理者等は、被害が軽微な場合でも、継続使用の判断のため、近傍等で観測された地震動を用いた評価や、館内の点検等詳細な調査を行っている。また、石油タンクのスロッシングについては、速度応答スペクトルと液面高からスロッシング高を推定できるため、施設内で観測された地震動を用いて評価を行っている。このため、高層ビルや、石油タンクや長大橋などの施設管理者、防災関係機関等の特定ユーザーに対しては、一般向けの地震情報とは別に、防災対応の目的のために利用可能な波形や応答スペクトル等のデータの提供を検討することも必要である。

5. 今後の課題

5-1. 長周期地震動に関する情報の具体的な発表の方法、提供手段に関する検討

今後、過去の地震で観測された地震動の分析結果と、高層ビル内での揺れによる行動の困難さや不安感、生理的影響、家具・什器等の転倒・移動の状況等の状況の関係を踏まえ、情報を発表するための閾値や情報に用いる表現、発表対象地域など、具体的な発表の方法を検討する必要がある。また、メディアやユーザーの意見を踏まえながら、具体的な提供手段を検討する必要がある。

5-2. 大都市圏等における気象庁の強震動観測体制の強化

4. で示したように、長周期地震動に関する情報の作成には、当面、気象庁が設置した震度計および多機能型地震計の地震波形を利用する。しかし、気象庁の多機能型地震観測点は出来る限り地盤の良い場所を選んでおり、地震観測としての環境はよいが、長周期地震動が観測されにくい。また、これまでは、観測点の設置に際し高層ビルの立地状況は加味していなかったが、長周期地震動に関する情報を発表するためには、高層ビルが集中する場所の近傍に観測点を設置することが必要であると考えられる。

今後、関係機関の協力を得ることを視野に入れながらも、気象庁においても、長周期地震動による揺れの迅速な評価や、データの蓄積をするため、関係機関の観測点の位置などを考慮しながら、大都市圏等における観測点の増設に向けた検討を行う必要がある。

5-3. 高層ビル内における人の体感や什器転倒等の被害との対応等に関するさらなる調査の実施

気象庁では、人の体感への影響や、什器の転倒・移動等の特徴的な被害の調査を行ったが、気象庁のみの調査では箇所数、データ数共に限界があり、地表で観測された長周期地震動の大きさと、高層ビル内における体感や家具転倒等との関係など、長周期地震動に関する情報を活用するための解説表などを作成するには至っていない。

現在、関係機関・学会等が、今般の東日本大震災等における高層ビルの被害の調査・研究を行われている。今後、これらの関係機関・学会等の協力を得つつ、揺れの大きさと、高層ビル内における揺れの体感や什器転倒等の実態に関するさらなる調査・検討が必要である。

5-4. 長周期地震動による揺れの特性や室内の安全対策等に関する周知、啓発

長周期地震動による揺れの実態調査によって、高層ビルでは、構造被害が発生しない程度の揺れであっても、人的被害が発生しかねない様相を呈していたと推測される。ビルの固有周期や揺れの特性、揺れによって発生する可能性がある被害の様態、家具等の固定などの長周期地震動による被害の防止・軽

減策の励行、さらに高層ビル等建物の長周期地震動対策の促進と共に、長周期地震動に関する情報の利用普及を進めていくことが重要である。

今後、気象庁では、新たに発表する予定の「長周期地震動に関する情報」を国民広くが認知するよう、周知を進めると共に、関係機関と連携しつつ、長周期地震動による揺れの特性、揺れによって発生する可能性がある被害等について、周知・啓発を図っていくことが必要である。

5-5. 長周期地震動に関する予報の検討

長周期地震動による高層ビル等の揺れは、その固有周期と共振する波が繰り返し入力することによって成長する。従って、揺れが大きくなるまでには、短周期の地震動に比べやや時間を要する。また、震源域から遠方の震度が小さい地域でも揺れが大きくなるが、そこへ表面波が到達するには実体波より時間が掛かる。このような特性から、長周期地震動における揺れが到達し、揺れが大きくなるまでの猶予時間は比較的長い、と考えられる。このことから、長周期地震動に対して、緊急地震速報と同じように、予報を発表することにより、高層ビル内等の方々の安全の確保等が図れることが期待されるため、予報についても検討が必要である。

6. 文献

- 1) 大阪府（2011）、咲洲庁舎の安全性等についての検証結果、大阪府ホームページ (http://www.pref.osaka.jp/hodo/attach/hodo-06971_4.pdf)
- 2) 吉原浩（1984）1983年日本海中部地震による石油タンクのスロッシングとその被害について、日本海中部地震による危険物施設の挙動に関する調査報告書、自治省消防庁消防研究所
- 3) 座間信作（2006）石油タンクのスロッシングと対策
- 4) 勝俣英雄・佐野剛志・鈴木康正（2011）地震後の応急危険度判定と早期復旧対策、日本建築学会構造委員長周期建物地震対応ワーキンググループ、長周期地震動対策に関する公開研究集会資料,p.237-280
- 5) 太田外気晴・座間信作（2005）、巨大地震と大規模構造物ー長周期地震動による被害と対策ー、共立出版、pp.287
- 6) 土木学会地震工学委員会地震動研究の進展を取り入れた公共社会インフラの設計地震力に関する研究小委員会（2009）地震動研究の進展を取り入れた土木構造物の設計地震動の設定法ガイドライン（案）
- 7) 宮田利雄・山田均・勝地弘・中川洋(2003)明石海峡大橋常時微動データからの振動特性同定土木学会第58回年次学術講演会概要集
- 8) 朝日新聞（2000）ガーデンプレイスの怪、AERA,2000.11.13
- 9) 総務省消防庁・気象庁（2009）震度に関する検討会報告書