



## 想定東南海地震に対する大学キャンパスでの 緊急地震速報の利用に関する基礎的検討

酒井久和<sup>1)</sup>、山崎誠<sup>2)</sup>、八木康夫<sup>3)</sup>、伊津野和行<sup>4)</sup>、土岐憲三<sup>5)</sup>

<sup>1)</sup> 正会員、広島工業大学工学部、准教授 博(工)

e-mail : h-sakai@cc.it-hiroshima.ac.jp

<sup>2)</sup> NTT 西日本 (研究当時立命館大学大学生)

<sup>3)</sup> 立命館大学理工学部、准教授 博(工)

e-mail : yagi567@se.ritsumei.ac.jp

<sup>4)</sup> 正会員、立命館大学理工学部、教授 博(工)

e-mail : izuno@se.ritsumei.ac.jp

<sup>5)</sup> 名誉会員、立命館大学理工学部、教授 工博

e-mail : toki-k@se.ritsumei.ac.jp

### 要 約

本研究は、滋賀県の大学キャンパスを対象にして、緊急地震速報を活用した想定東南海地震に対する地震対策について検討したものである。まず、東南海地震時における地表での加速度波形を1次元非線形応答解析により求め、揺れの大きさと震源からの主要動到達時間について検討した。その結果、対象場所における揺れは震度5弱で1分ほど続き、直前対策行動可能時間は約30秒であることがわかった。また、主要動までの猶予時間30秒に対する学生の意識調査、キャンパス内での危険箇所調査、避難実験による避難時間調査などを実施し、大学キャンパス内の緊急地震速報に対する地震対策方法を提案した。

キーワード: 緊急地震速報、想定東南海地震、大学キャンパス、リスクマネジメント、地震対策

### 1. はじめに

近年、地震調査研究推進本部による全国の地震動予測が公表され<sup>1)</sup>、また、中央防災会議による東海・東南海・南海地震による影響が公表されるなど<sup>2)</sup>、政府・行政機関による将来の地震動予測が積極的に進められ、成果が公開されている。しかし、特定の場所の地震対策を考える上では、行政機関による情報のみでは不足する場合があります、その情報を対象地に合わせてさらに加工・補填することが必要になる。

また近年、地震が発生した後、主要動が到着する前に予測震度、主要動到着時刻などを推定し、各地にそれらの情報を配信する、気象庁の緊急地震速報が新たな地震対策として注目されている<sup>3)</sup>。地震の早期検知警報システムとしては、JR の新幹線で 1990 年代から実用化され<sup>4)</sup>、気象庁の緊急地震速報も 2007 年 10 月 1 日より一般へ配信される予定である。このうち、緊急地震速報は広く一般に配信されるため、情報を有効利用するためには利用者ごとの個別課題について十分に検討していく必要があり、これまで、種々の利用形態に対して、危機管理システムの構築や地震対策について検討されている<sup>5)-13)</sup>。気象庁からも一般向け緊急地震速報の利用の心得(案)<sup>14)</sup>が示されており、不特定多数の者が出入りする施設での施設利用者の心得として、下記の項目を列記している。

a. 屋内

- ・あわてずに、まず身の安全を確保する。
- ・あわてて出口・階段などに殺到しない。
- ・吊り下がっている照明などの下からは退避する。

b. 屋外

- ・あわてずに、まず身の安全を確保する。
- ・ブロック塀の倒壊や自動販売機の転倒に注意し、これらのそばから離れる。
- ・ビルからの壁、看板、割れたガラスの落下に備え、ビルのそばから離れる（離れることが困難なときはビルの下に避難）。

- ・丈夫なビルのそばであればビルの中に避難する。

さらに、学校施設においては、机の下に隠れる、慌てて外に飛び出さない、ことが求められ、兵庫県加古川市や宮崎県清武町などにおいてモデル実験が実施されている。

しかし、上記の机の下に隠れる、慌てて外に飛び出さない、は学校施設全般に対する普遍的な心得ではなく、対象とする想定地震ごとにサイトで想定される地震動、緊急地震速報が放送されてからの猶予時間、学生の年齢、防災意識などに応じて、最適な地震時の対応および事前対策が異なるはずである。そのために、緊急地震速報の運用に向けて、各事業者が個々の状況に応じた対応策を蓄積していくことが急務である。

そこで本研究では、多数の学生や教職員がいる大学キャンパスを対象にし、当該対象地に大きな影響を与えると考えられる東南海地震の発生を想定した場合の、緊急地震速報を活用した避難対策について検討を行った。

## 2. 検討対象場所と想定地震

本研究の対象地は、滋賀県草津市にある大学キャンパスである。ここには、学生・教職員あわせて約 1 万 8 千人が在籍している。1994 年にキャンパスが開設されたため比較的新しい建物が多く、階数も 4 階程度の建物が大半で、一番高い 7~8 階の建物は 3 棟のみである。

まず、対象地点で想定される大地震について検討した。対象とした大学キャンパスは滋賀県南東部に位置しているため、内陸直下型地震としては琵琶湖西岸断層や花折断層を震源とする地震、海洋型地震としては東海・東南海・南海地震の影響が大きいことが考えられる。

しかし、内陸直下型地震については、いずれも震源と想定される地点からの距離が 15~25km と近い<sup>1)</sup>ため、地震発生から S 波が到達するまでに 5~8 秒しかない。緊急地震速報では、地震検知後 5~6 秒で第一報が発信されるという報告より、本研究で対象とする避難対策としては活用が難しいものと考えられる。地震対策としては当然考慮しなければならないが、緊急地震速報を用いた人へのアナウンス等には利用できないものとして、今回の検討では対象外とした。

### 3. 想定地震波形

想定される東南海地震の震源位置と対象キャンパスとの距離から、おおよその余裕時間を算定することができ、また、揺れの程度も公表されている震度階から推定することは可能である。しかし、より詳細な揺れを明らかにしておくことで、事前の対策もより具体的に立てることが可能だと考えられる。よって本研究では、中央防災会議が公表している基盤での想定地震動をもとに、対象地点の地表面における地震波形を、1次元非線形時刻歴応答解析<sup>15)</sup>によって計算し、それをもとに想定東南海地震への対策を考えることとした。

#### (1) 基盤における地震動

解析に用いる入力地震動として、中央防災会議資料による想定東南海地震の対象区域（メッシュコード 52353766）における工学基盤波である地震動波形<sup>16)</sup>を用いた。ただし、上記の地震動波形では断層の破壊開始時刻を0秒としており、本論文でもこれ以降示す時刻歴波形図は断層の破壊開始時刻を0秒とした。また、UD方向は堆積層による増幅を考えないこととした。

#### (2) 地盤モデル

(1)の工学基盤波が  $V_s=700\text{m/sec}$  で算定されているため、堆積地盤の地震応答解析に用いる地盤モデルは  $V_s=700\text{m/sec}$  までを設定する。

地盤データはキャンパス内建物建設時のボーリングデータを用い、地盤のS波速度構造は、次式<sup>17)</sup>に基づいて設定した。

$$V_s = 89.8N^{0.341} \quad (1)$$

ただし、ボーリングデータには  $V_s=400\text{m/sec}$  相当までのデータしかないため、中央防災会議資料による地盤データ<sup>16)</sup>で補足した。設定した地盤モデルを図1に示す。

また、解析対象周波数を10Hzまでとし、対象周波数10Hzの地震波が伝播するように、地盤を最大1mピッチで分割した。参考のため、この地盤モデルの線形系の固有周期を表1に示す。

土の非線形モデルは、次節(3)に示すせん断弾性係数  $G$  とせん断ひずみ  $\gamma$  に関する動的変形特性に一致するような骨格曲線を設定した。また、履歴曲線は、骨格曲線にそのまま Masing 則を適用すると実験結果を十分に再現できないため、減衰定数  $h$  とせん断ひずみ  $\gamma$  の曲線に適合するよう仮定の初期せん断剛性を変化させて Masing 則を適用する石原らのモデル<sup>18)</sup>を用いた。

表 1 堆積地盤の固有周期

	固有周期 (sec)
1次	1.15
2次	0.50
3次	0.29
4次	0.20

#### (3) 地盤の動的変形特性

1次元非線形地震応答解析を行う際の土の動的変形特性は、安田・山口の提案式<sup>19)</sup>を用いた。

$$\frac{G}{G_{\max}} = (A_1 + A_2 \log D_{50}) \sigma'_m{}^{(B_1 + B_2 \log D_{50})} \quad (2)$$

$$h = (C_1 + C_2 \log D_{50}) \sigma'_m{}^{(D_1 + D_2 \log D_{50})} \quad (3)$$

ここで、 $G_{max}$  は微小ひずみ時のせん断弾性係数、 $D_{50}$  は平均粒径、 $\sigma'_m$  は平均有効主応力 ( $\text{kgf/cm}^2$ ) である。A<sub>1</sub>~D<sub>2</sub> はひずみレベルで異なる変数でその値を表 2 に示す。また、土質特性と平均粒径  $D_{50}$ 、飽和密度  $\rho$  との関係は表 3 を用いた。ただし、粘性土については、 $D_{50}=0.004\text{mm}$ 、 $\rho=1.50\text{t/m}^3$  とした。

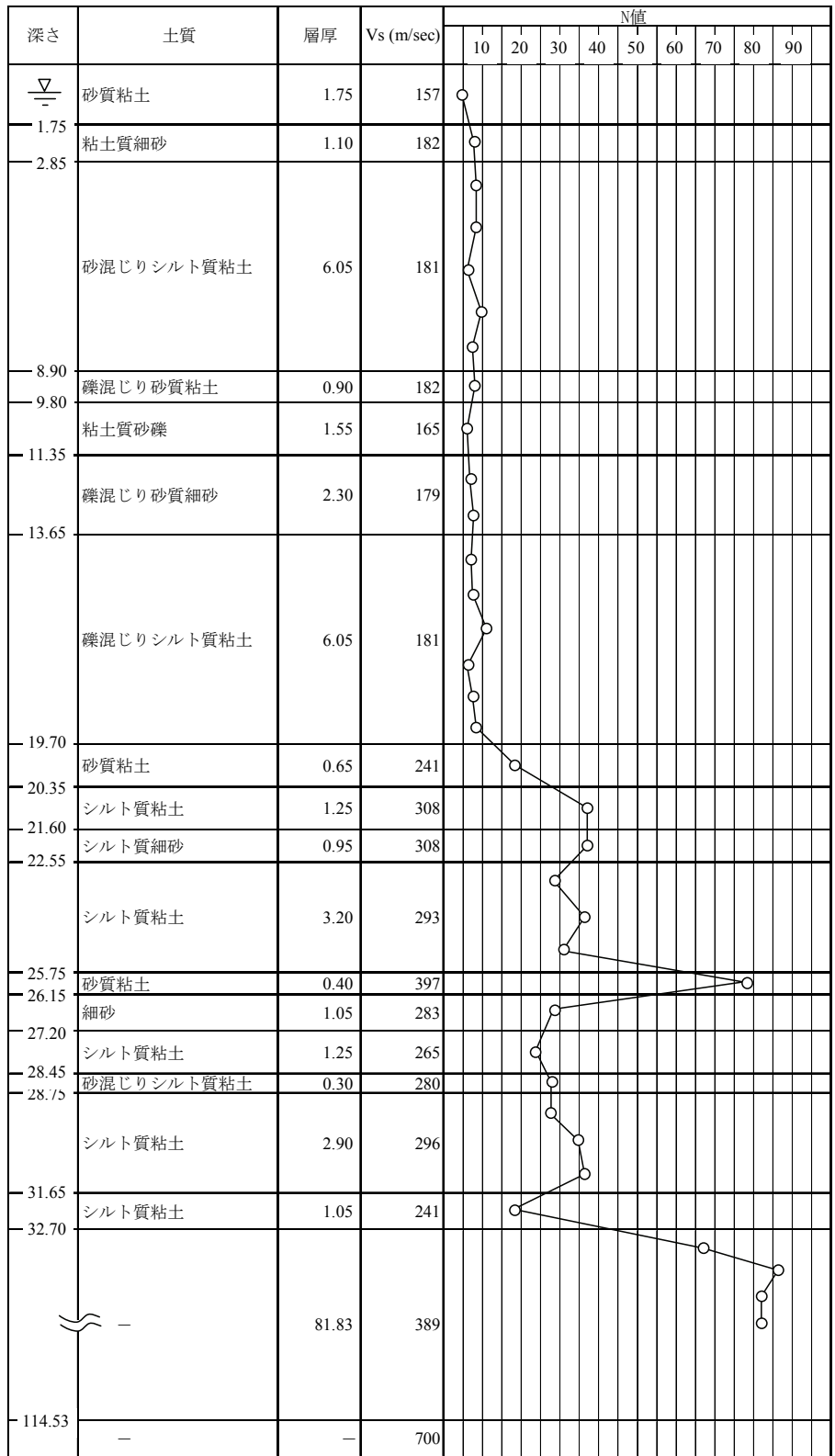


図 1 地盤データ

表 2 指数部を決めるための係数<sup>19)</sup>

$\gamma$	$A_1$	$A_2$	$B_1$	$B_2$
$1 \times 10^{-4}$	0.827	-0.044	0.056	0.026
$3 \times 10^{-4}$	0.670	-0.068	0.184	0.086
$1 \times 10^{-3}$	0.387	-0.099	0.277	0.130
$3 \times 10^{-3}$	0.189	-0.089	0.315	0.147
$1 \times 10^{-2}$	0.061	-0.054	0.365	0.167
$3 \times 10^{-2}$	0.041	-0.019	0.403	0.183
$\gamma$	$C_1$	$C_2$	$D_1$	$D_2$
$1 \times 10^{-4}$	0.035	0.005	-0.559	-0.258
$1 \times 10^{-3}$	0.136	0.036	-0.375	-0.173
$1 \times 10^{-2}$	0.234	0.037	0.000	0.000

表 3 土の平均粒径と飽和密度<sup>20)</sup>

土質	$D_{50}$ (mm)	$\rho$ (t/m <sup>3</sup> )
表土	0.02	1.70
シルト	0.025	1.75
砂質シルト・ローム	0.04	1.80
シルト質細砂	0.07	1.80
細砂	0.10	1.85
微細砂	0.15	1.95
中砂	0.35	2.00
粗砂	0.60	2.00
砂礫	2.00	2.10

#### (4) その他の解析条件

減衰は Rayleigh 減衰を仮定し、系の 1 次の固有振動数と解析対象周波数(=10Hz)で、減衰定数が 1% となるように設定した。また、計算時間間隔は 0.001 秒とし、Newmark の  $\beta$  法 ( $\beta=1/4$ ) で不釣合い力の処理には修正 Newton-Raphson 法で最大 4 回の収束計算を行い、残った不釣合い力は次のステップに持ち越した。

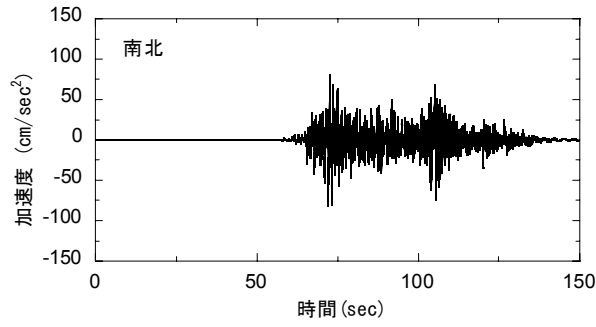
#### (5) 地表における想定地震動

解析により求めた、対象地域の地表における想定東南海地震の予測地震波形を図 2 に示す。図 2 から、NS 方向には地震発生から約 70 秒後に最大加速度約 100cm/sec<sup>2</sup> が、EW 方向には約 105 秒後に最大加速度約 150cm/sec<sup>2</sup> が到達し、いずれの成分も主要動は 100 秒以上継続することが分かる。

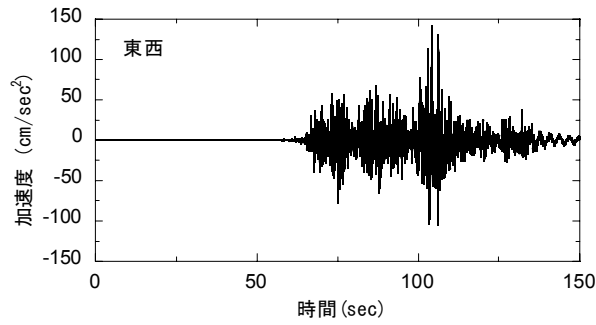
#### (6) 建物の揺れ

得られた地表面での地震波形から計測震度を計算すると 4.8 になり、震度 5 弱と判定される。中央防災会議の資料でも、当該地域は震度 5 弱とされている。震度 5 弱で比較的新しい構造物が大きな損傷を受けることは少ないと判断して、線形応答することを想定して、応答スペクトルで揺れの最大値について検討した。図 3 に地表面における想定地震動の加速度応答スペクトル(減衰定数 0.05)を示す。

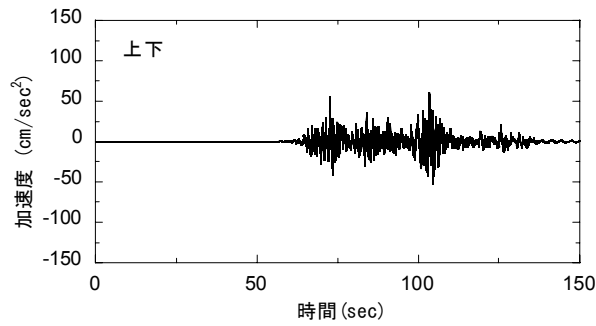
図 3 の加速度応答スペクトルでは、0.2~0.3 秒と、0.5~0.7 秒、1.0~1.2 秒に卓越周期が見られるが、これはそれぞれ地盤の 3~4 次、2 次、1 次の固有周期に対応し、加速度振幅の大きな EW 成分が NS 成分よりも地盤がより非線形化することにより、卓越周期が長周期化しているものと考えられる。



(a) 南北方向



(b) 東西方向



(c) 上下方向

図 2 対象地点における地表面での想定地震波形

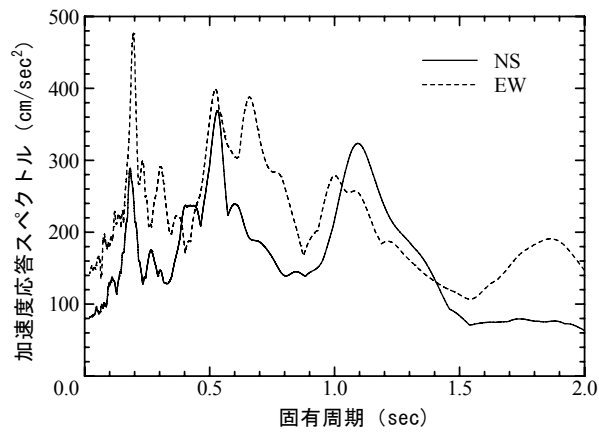


図 3 加速度応答スペクトル (減衰定数 0.05)

キャンパス内の建物は2～8階建てであり、固有周期0.2～0.8秒、減衰定数0.05を想定すると、最大値は400～500 $\text{cm/sec}^2$ 程度の最大加速度が予測される。

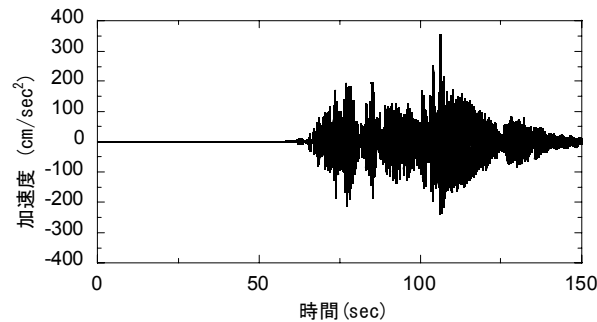


図 4 構造物の時刻歴応答加速度波形  
(固有周期 0.5 秒、減衰定数 0.05)

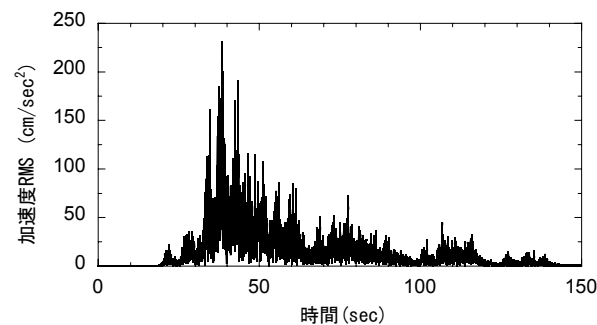


図 5 地震観測点工学基盤における予測波形の  
RMS 値の時刻歴

例として、固有周期 0.5 秒、減衰定数 0.05、EW 方向の時刻歴応答加速度波形を図 4 に示す。300  $\text{cm/sec}^2$  以上の強い揺れは一瞬であるが、1 分以上 100 $\text{cm/sec}^2$  以上で揺れ続けるため、落ち着いて行動するよう注意を促す必要があるものと考えられる。

#### 4. 直前対策行動可能時間

気象庁の緊急地震速報は、地震観測点で P 波を検出すると計算が開始される。前章で用いた中央防災会議の資料<sup>16)</sup>で、想定される震源位置に最も近い陸上区域(メッシュコード 50352796)における工学基盤における想定観測波形から水平・鉛直全 3 成分の RMS 値を計算した時刻歴波形を図 5 に示す。中央防災会議資料では、この地点の表層地盤は  $V_s=74\text{m/sec}$ 、層厚 7.8m の一層のみが工学基盤 ( $V_s=700\text{m/sec}$ ) 上に堆積するようモデル化されており、工学基盤から表層までの波動伝播によるタイムラグも小さい。また、土質特性データも不十分であるため、本研究では地震応答計算は行わず、緊急地震速報の計算データとして、この工学基盤地震動をそのまま採用した。

緊急地震速報では、観測地点のノイズレベルの 10 倍の振動レベルでトリガーが起動される<sup>21)</sup>ことから、この地点のノイズレベルを  $1\text{cm/sec}^2$  (水平 2 成分、鉛直 1 成分の RMS) と仮定すると、地震発生後約 20 秒後に、最も近い陸上観測点が P 波を検知する可能性があることがわかる。その後 3～5 秒<sup>22)</sup>で第一報が

発信されたとすると、地震発生後約 25 秒が既に経過していることになる。前章での検討により、対象地に最大加速度が到達するのが、地震発生後 70 秒であるため、まだ 45 秒の余裕がある。しかし、緊急地震速報を受信し、すぐにキャンパス内へ注意を促す放送を流せたとしても、短い放送文でも 10～15 秒は必要だと考えられるため、放送開始までの時間的ロスや、放送を聞いた人が内容を理解して行動に移るまでの時間を見込むと、直前対策が可能な時間は 30 秒程度になると考えられる。

## 5. 緊急地震速報に基づく地震対策の検討

本章では、キャンパスでのより適切な地震対策を提案するために、建物からの避難実験、アンケートによる地震時行動に関する意識調査、およびヒアリング調査によるキャンパス内の危険箇所の抽出を行った。

### (1) 避難実験

避難実験では、キャンパス北東に位置する 4 階建ての建物である防災システムリサーチセンター（写真 1）において、階段に最も近い教室内の男子学生（20 歳代）10 人が慌てずに建物から十分離れた所（20m）まで避難するのに要する時間を計測した。表 4 に各階からの避難完了までの所要時間を示す。ただし、出口の扉はガラスが一般に使用されるが、この扉はガラスが割れて飛散する恐れがあるので、非常用の扉を使用した。



写真 1 防災システムリサーチセンター外観

階層	避難完了までの時間(sec)
4	92
3	82
2	67
1	44

今回の調査では混雑していない階段を使ったが、表に示すように、徒歩で避難する場合には 1 階からでも 40 秒以上必要であり、例え緊急地震速報を聞いてすぐに外へ避難しようとしても、主要動の到達までに間に合わない可能性が高い。このことを、キャンパスにいる人に日頃から十分に認識させておく必要がある。

### (2) アンケートによる地震時の行動に関する意識調査

キャンパス内で地震にあった際にどのような行動をとるかについてアンケート調査を実施した。調査項目を図 6 に示し、回答者の属性を表 5 に示す。その結果（複数回答）を図 7 に示す。教室及び食堂においても、約 70% 以上は机の下にもぐるという行動を取ると答えているが、どちらの場合も 20% 程度外へ出るといった回答があった。屋外においては、60% 程度建物から離れて広いところへ逃げると回答があった。また逆にその場にじっとするとの回答が建物内では、5% 程度、キャンパスの屋外ではじっとする、しゃがむとの回答がそれぞれ 10% 程度あった。愛知工業大学の避難訓練参加者に対するモデル実験でのアンケート結果においても、緊急地震速報のアナウンス後に、“身構えた、しゃがみこんでじっとした”との回答が 40% 程度あり<sup>23)</sup>、急に情報が入った場合に頭で考える以上に実際に行動に移すことができなことが想定されることから、緊急地震速報を聞いた際の行動訓練やアナウンスによる指示が重要であると考えられる。



■ キャンパス内で地震に遭遇した際、あなたはまずどのような行動をとりますか？以下のケース毎に答えて下さい

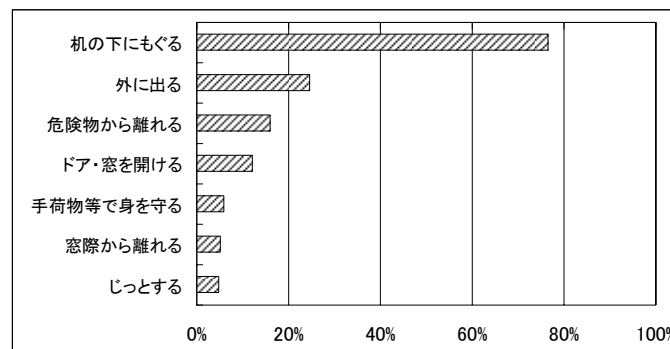
- 1.教室では
- 2.食堂(リンク/ユニオン/Cキューブ)では
- 3.キャンパスの屋外では

■ キャンパスにおいて30秒後に震度6クラスの地震が来ることがわかれば、その30秒の間にどのような行動をとりますか？

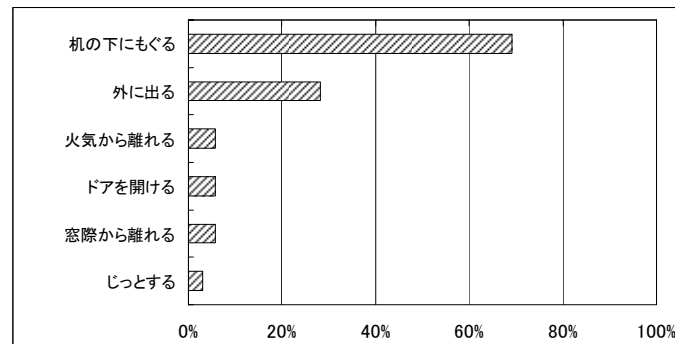
図 6 アンケート調査項目（地震時の行動）

表 5 アンケート回答者構成率（地震時の行動）

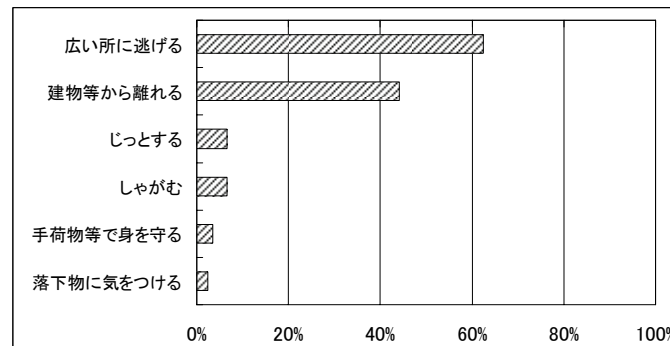
性別	回答者数	回答構成比率
男子学生	185	67.80%
女子学生	88	32.20%
合計	273	100%



(a) 教室で地震に遭遇



(b) 食堂で地震に遭遇



(c) キャンパスの屋外で地震に遭遇

図 7 地震に遭遇したときの行動

次に、想定東南海地震に対する緊急地震速報では、主要動までの猶予時間が30秒間あると想定されるが、その30秒間にどのような行動をとるかを把握するため、“キャンパスにおいて30秒後に震度6クラスの地震が来ることがわかれば、その30秒の間にどのような行動をとるか”という問いに対するアンケートを実施した。結果を図8に示す。その結果、所持品を持つという回答が最も多く、次に屋外の広い場所に避難するであった。また外に出るとの回答は20%程度あり、屋外の広い場所に避難すると合わせると70%程度の回答であった。しかし、表4に示すように屋内の教室から屋外にでるには30秒以上時間を要し、建物から離れて落下物の危険性が無いエリアに避難するには、時間が不足することの周知を図る必要がある。その他の回答としては、ドアや窓を開ける、身を守るものを身に付ける、靴を履く、といった行動を取るという回答の他、しゃがむ、叫ぶ等もあり、30秒という時間の中で何ができるのか、学生達には具体的なイメージがつかめていないことが窺われ、今後、緊急地震速報の利用にあたって十分な防災訓練が必要であると言える。

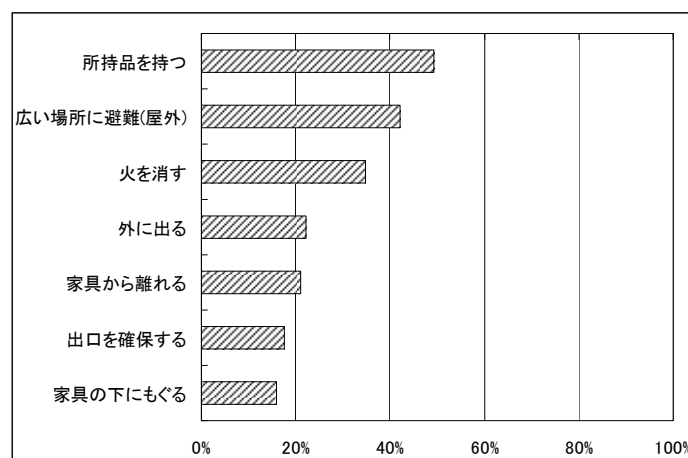


図8 地震まで30秒ある時の行動

### (3) ヒアリング調査によるキャンパス内の危険箇所の抽出

キャンパス内での避難時の危険箇所を抽出するために、270人の学生に日常時の大学キャンパスにおける危険箇所についてのヒアリング調査を実施した。回答者の属性を表6に示す。この調査ではキャンパス配置図に被害にあった場所を指摘してもらった方法で、その被害内容は“滑る”、“躓く”、“踏み外す”、“押される”、“挟まれる”、“ぶつかる”、“鋭利なものに触れる”、“濡れる・汚れる”、“その他”の9項目であった。その結果（複数回答）を図9、図10に示し、またその被害指摘場所と被害内容および回答率を表7に示す。41箇所で何らかの被害が発生していると指摘があった。普段使い慣れた大学キャンパス内でも程度の差こそあれ何らかの日常的被害が発生している。特に建物出入り口や廊下において、滑り易い、躓き易い箇所が多数存在することから、地震時の混乱を想定した施設整備が必要であると言える。

表6 ヒアリング調査回答者属性（危険箇所）

所属学部	回答者数
理工学部生	210
経済学部生・経営学部生	60
合計	270

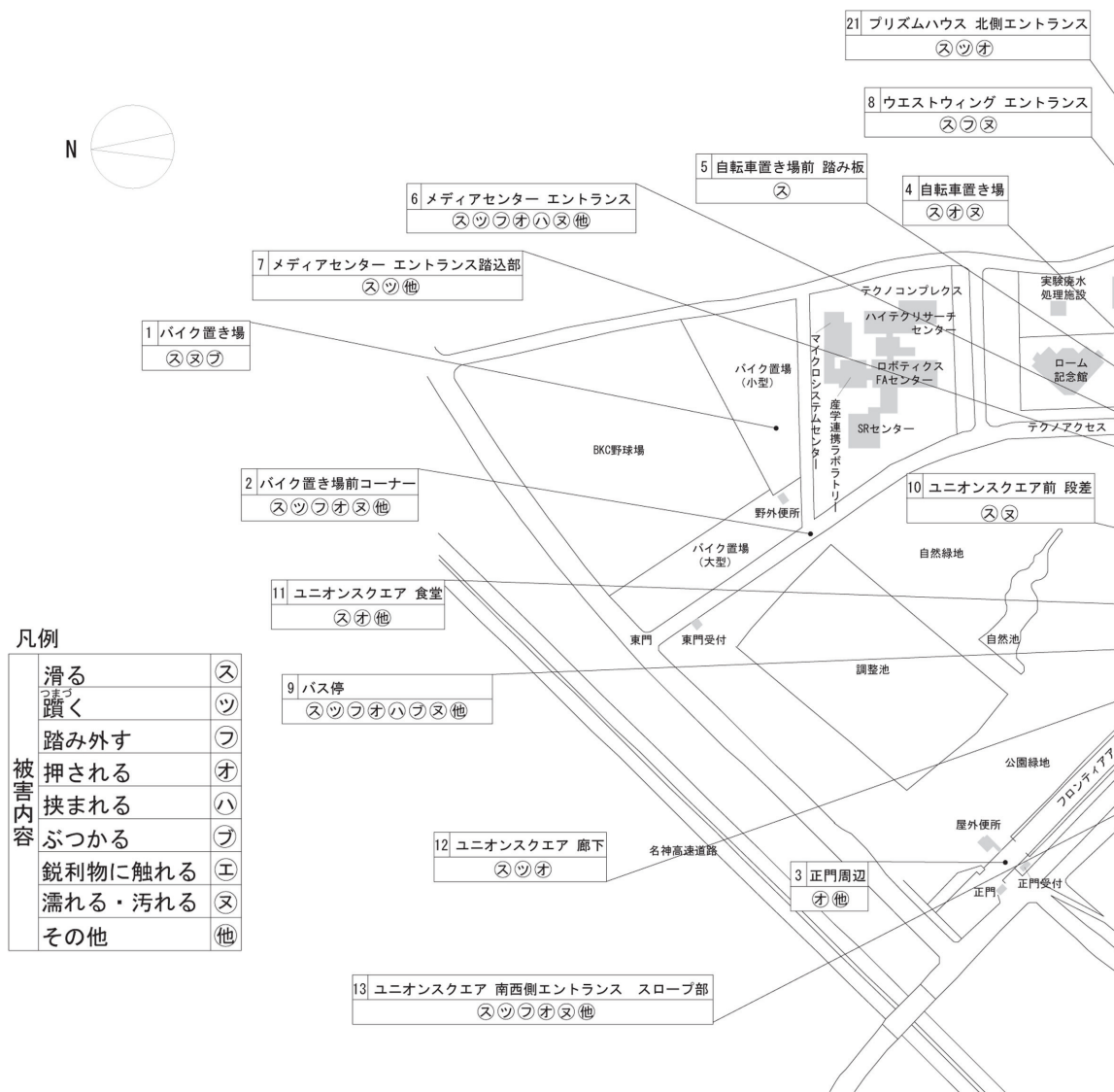


図 9 指摘されたキャンパス内の危険箇所の実態（北側）

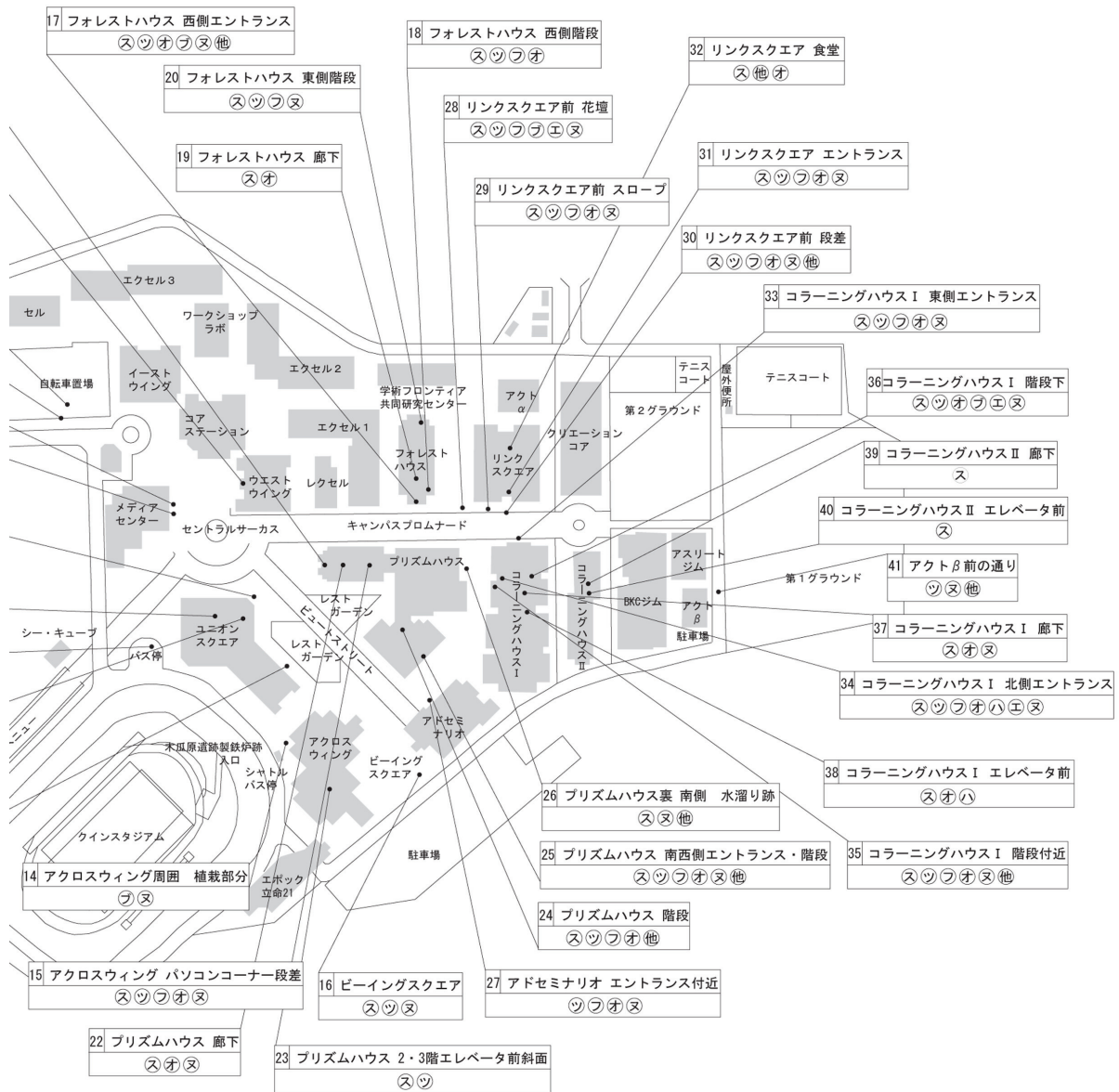


図 10 指摘されたキャンパス内の危険箇所の実態（南側）

表 7 ヒアリング調査による被害指摘場所、被害内容、回答率

番号	被害指摘場所	被害内容および回答率
1	バイク置き場	「濡れる・汚れる」69%, 「ぶつかる」29%
2	バイク置き場前コーナー	「滑る」37%, 「濡れる・汚れる」30%
3	正門周辺	「押される」100%
4	自転車置き場	「濡れる・汚れる」79%, 「押される」17%
5	自転車置き場前踏み板	「滑る」100%
6	メディアセンター エントランス	「踏く」25%, 「押される」22%, 「滑る」22%
7	メディアセンター エントランス踏込部	「その他(はまる)」49%, 「踏く」42%
8	ウエストウイング エントランス	「滑る」45%, 「踏み外す」33%
9	バス停	「押される」41%, 「濡れる・汚れる」39%
10	ユニオンスクエア前 段差	「濡れる・汚れる」86%, 「滑る」14%
11	ユニオンスクエア 食堂	「押される」74%, 「滑る」26%
12	ユニオンスクエア 廊下	「滑る」94%, 「踏く」4%
13	ユニオンスクエア 南西側エントランス スロープ部	「滑る」46%, 「踏く」27%
14	アクロスウイング周囲 植栽部分	「ぶつかる」70%, 「濡れる・汚れる」30%
15	アクロスウイング パソコンコーナー 段差	「滑る」39%, 「踏く」28%
16	ビーイングスクエア	「濡れる・汚れる」43%, 「踏く」39%
17	フォレストハウス 西側エントランス	「滑る」35%, 「押される」33%
18	フォレストハウス 西側階段	「滑る」37%, 「踏く」35%
19	フォレストハウス 廊下	「滑る」82%, 「押される」18%
20	フォレストハウス 東側階段	「踏く」51%, 「踏み外す」21%
21	プリズムハウス 北側エントランス	「滑る」69%, 「押される」28%
22	プリズムハウス 廊下	「滑る」82%, 「濡れる・汚れる」10%
23	プリズムハウス 2・3階エレベーター前斜面	「滑る」60%, 「踏く」40%
24	プリズムハウス 階段	「踏く」44%, 「押される」42%
25	プリズムハウス 南西側エントランス・階段	「押される」33%, 「濡れる・汚れる」18%
26	プリズムハウス裏 南側 水溜り跡	「濡れる・汚れる」85%, 「滑る」9%
27	アドセミナリオ エントランス付近	「押される」56%, 「濡れる・汚れる」21%
28	リンクスクエア前 花壇	「踏く」56%, 「ぶつかる」16%
29	リンクスクエア前 スロープ	「滑る」36%, 「踏く」40%
30	リンクスクエア前 段差	「押される」28%, 「踏く」23%
31	リンクスクエア エントランス	「押される」38%, 「滑る」27%
32	リンクスクエア 食堂	「押される」72%, 「滑る」28%
33	コラーニングハウスⅠ 東側エントランス	「押される」33%, 「滑る」26%
34	コラーニングハウスⅠ 北側エントランス	「押される」34%, 「濡れる・汚れる」28%
35	コラーニングハウスⅠ 階段付近	「押される」37%, 「滑る」29%
36	コラーニングハウスⅠ 階段下	「滑る」52%, 「押される」24%
37	コラーニングハウスⅠ 廊下	「滑る」90%, 「濡れる・汚れる」7%
38	コラーニングハウスⅠ エレベーター前	「押される」61%, 「滑る」25%
39	コラーニングハウスⅡ 廊下	「滑る」100%
40	コラーニングハウスⅡ エレベーター前	「滑る」100%
41	アクトβ 前の通り	「その他」55%, 「濡れる・汚れる」36%

#### (4) 地震対策の提案

大学キャンパスの特徴として、昼間であれば講義室や食堂に多数の人間がいること、実験室等に薬品や重量物など落下や転倒に注意すべきものがあることが挙げられる。前章までの検討で、想定東南海地震では震度5弱という揺れが予測されることから、建物が倒壊したり大きな損傷を受けたりする可能性は低いと考えられる。よって、1章の気象庁による緊急地震速報の利用心得(案)等と教室内の設備等の現状をもとに、屋内にいる人は、①主要動までの猶予時間が十分あるので冷静に対応すること、②出口を確保すること、③危険物に注意すること、④窓、棚、実験装置、講義用の吊り下げテレビなどから離れること、⑤机の足を持ち机の下に隠れること、を実行すればよいと考える。しかし、30秒間に教員が室内の学生に上記の事項を指示し、実行する時間的余裕はない。一般に防災訓練の重要性が指摘されているが、全学生を対象とした防災訓練を1年に1回程度行い、その記憶だけで非常時に適切な行動を

取ることは困難であると考えられる。したがって、防災訓練だけでなく、平時の講義の際に予め、上記の役割分担を指示することを数回の講義で繰り返し行うことが必要で、それにより②～⑤の対処時間は十分に確保されると考える。さらに、建物出入口や廊下において、滑り易い、躓き易い箇所が多数存在することから、地震時の混乱を想定した施設整備が必要である。

一方、屋外にいる人は、震度5弱で窓ガラスが割れる可能性は考えられるため、30秒の間に建物から離れることが推奨される。大学キャンパスの屋外では屋内に比べて躓き易い、滑り易い箇所は比較的少ない。しかし、近年の特徴として、建物の外のガラスに姿を写してダンスの練習をしている学生が多く、これは地震時にはけがをする危険が高いと言え注意が必要であろう。

また、この大学キャンパスには、約500人の留学生がおり、本国で地震を経験したことのない留学生も多い。緊急地震速報を受けての緊急放送で2カ国語以上の放送は、時間的な余裕がないとも考えられるため、多国語での防災マニュアル整備等、事前の防災対策が必須である。

前述のように、緊急地震速報で個々が取べき対応を逐一放送し、その指示に従うには時間的猶予がなく、放送による情報は予想される震度、猶予時間に留まるであろう。したがって、放送があれば各自が何をすべきか、キャンパス内の人間に対して日頃からよく周知させておくことが重要である。

## 6. おわりに

本研究では、多数の学生や教職員がいる大学キャンパスを対象に、想定東南海地震に対する直前地震対策について検討を行った。得られた主な結果は以下の通りである。

- (1) 対象地には、想定東南海地震が発生して約70秒後に主要動が到達し、最大加速度は100～150 cm/sec<sup>2</sup>、揺れは1分以上続き、震度階は5弱だと予測される。
- (2) 緊急地震速報を活用する場合、想定東南海地震では対象地において約30秒の余裕がある。
- (3) 現地実験の結果、建物内の教室から屋外へ避難するには30秒以上の時間を要する。
- (4) 学生のアンケートによる地震時の行動に関する調査では、屋外に避難したいとの回答が20%以上ある。そのため、想定東南海地震では建物が倒壊せず、2階以上では屋外に避難する時間がないことを十分に認識させる必要がある。
- (5) キャンパス内には、平時においても躓く、滑る等が発生しており、地震時の混乱を想定した施設整備が必要である。
- (6) 想定東南海地震に対する緊急地震速報において、屋内の学生の地震対策として下記の対応を提案する。
  - ① 主要動までの猶予時間が十分あるので冷静に対応する。
  - ② 出口を確保する。
  - ③ 薬品など危険物に注意する。
  - ④ 窓、棚、実験装置、講義用の吊り下げテレビなどから離れる。
  - ⑤ 机の足を持ち机の下に隠れる。
- (7) 平時の講義の際に予め、上記②～⑤の役割分担を指示することを数回の講義で繰り返し行うことが重要であり、想定東南海地震に対する対処時間は十分に確保されると考える。

今後、授業中の避難訓練等、実地実験を通して、より有効な地震対策を模索していきたいと考えている。また、本研究では対象外とした内陸直下型地震に対しても、どのような地震対策が可能か検討していく必要がある。

謝辞：本研究の実施にあたっては、文部科学省私立大学学術研究高度化推進事業のハイテクリサーチセンター整備事業「防災と安全のための複合大規模センサシステムおよびロバストネットワークの構築」

の補助を受けた。また、本研究では想定地震動として、内閣府中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」に係るデータを使用した。建物からの避難実験にあたっては、北島徹也君をはじめとする立命館大学の4回生の協力を得た。ここに各位に謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部・地震調査委員会：「全国を概観した地震動予測地図」報告書、2005.3.
- 2) 中央防災会議：<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/>
- 3) 斉藤誠：緊急地震速報の現状と今後の計画、震災予防、2006.
- 4) 中村豊：総合地震防災システムの研究、土木学会論文集、No.531/I-34、1996、pp.1-33.
- 5) 川上則明、藤縄幸雄：緊急地震速報の分野別利活用システム開発、土木学会リアルタイム災害情報検知とその利用に関するシンポジウム論文集、2004、pp.11-18.
- 6) 丸山喜久、山崎文雄：高速道路運転者への地震動早期警報提供に向けた基礎検討、土木学会リアルタイム災害情報検知とその利用に関するシンポジウム論文集、2004、pp.25-30.
- 7) 源栄正人、藤縄幸雄、山口耕作、佐竹昭弘、草野直幹、宮村正光、岩崎智哉：緊急地震速報を活用した避難・防災教育支援システム、土木学会リアルタイム災害情報検知とその利用に関するシンポジウム論文集、2004、pp.117-120.
- 8) 川上則明、藤縄幸雄：緊急地震速報の分野別活用システム開発、リアルタイム災害検知とその利用に関するシンポジウム論文集、2004、pp.11-18.
- 9) 小池則満、田代直人、内藤克己、高橋郁夫、正木和明：リアルタイム地震情報による建設現場の地震災害リスク低減可能性に関する研究、建設マネジメント研究論文集、Vol.13、2006、pp.135-144.
- 10) 高山丈司、小路泰広、日下部毅明：建設現場における緊急地震速報の活用、第24回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集、2006、pp.29-32.
- 11) 翠川三郎：地震時のエレベータの被害と緊急地震速報、第5回国土セイフティネットシンポジウムー緊急地震速報の実用化を迎えるに当たってー講演集、2006、pp.37-40.
- 12) 中村孝明、高木政美、志波由紀夫、坂下克之：緊急地震速報を利用したプラント施設の緊急停止に関する研究、第12回地震工学シンポジウム論文集、2006、pp.1330-1333.
- 13) 坂谷将人、丸山喜久、山崎文雄：複数ドライビングシミュレータを用いた走行模擬実験による緊急地震速報の効果検討、地域安全学会梗概集、No.19、2006、pp.75-78.
- 14) 緊急地震速報の本運用開始に係る検討会：緊急地震速報の本運用開始に係る検討会最終報告、2007.3.
- 15) 酒井久和、吉田望、澤田純男：非線形地盤震動解析における時間積分法の誤差、土木学会論文集、No.794、2005、pp.291-300.
- 16) 中央防災会議：「東海地震に関する専門調査会」「東海地震対策専門調査会」及び「東南海、南海地震等に関する専門調査会」において検討された想定東海地震、東南海・南海地震に係る公開データ、2004.10.
- 17) 土岐憲三：構造物の耐震解析、新体系土木工学、技報堂、Vol.11、1981.
- 18) Ishihara, K., Yoshida, N. and Tsujino, S.: Modeling of stress-strain relations of soils in cyclic loading, Proc. of 5th International Conference on Numerical Methods in Geomechanics, 1985, pp.373-380.
- 19) 安田進、山口勇：種々の不攪乱土における動的変形特性、第20回土質工学研究発表会講演論文集、1985、pp.539-542.
- 20) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編、1985.
- 21) 気象庁地震火山部：緊急地震速報の概要や処理手法に関する技術的参考資料
- 22) 気象庁：緊急地震速報の試験運用実施状況について、平成16年8月6日報道発表資料、2004.
- 23) 愛知工業大学：緊急地震速報を活用した避難訓練のアンケート調査結果（暫定版）、<http://202.124.209.222/aisite/enquete/newpage1.html>

(受理：2007年7月10日)

(掲載決定：2008年2月4日)

# Study on utilization of earthquake early warning system in university campus

SAKAI Hisakazu<sup>1)</sup>, YAMASAKI Makoto<sup>2)</sup>, YAGI Yasuo<sup>3)</sup>,  
IZUNO Kazuyuki<sup>4)</sup> and TOKI Kenzo<sup>5)</sup>

1) Member, Associate Professor, Ritsumeikan University, Dr. Eng.

2) President, NTT West Cooperation, Ltd. (Ex-graduate student, Ritsumeikan University)

3) Associate Professor, Ritsumeikan University, Dr. Eng.

4) Member, Professor, Ritsumeikan University, Dr. Eng.

5) Honorary Member, Professor, Ritsumeikan University, Dr. Eng.

## ABSTRACT

This paper studied the utilization method of JMA earthquake early warning system for the university campus in Kusatsu city, Japan. The earthquake waves due to the assumed Tonankai earthquake, which may damage to the campus in the future, were calculated using 1-D nonlinear earthquake response analysis. The predicted waves at the campus continue more than 1 minute and its JMA seismic intensity is 5 lower. Considering the characteristics of the earthquake early warning system, the results showed that we have 30 seconds to prepare for the main shock after receiving the information. We surveyed the time spent in taking refuge from seven-story buildings, the attitude after listening to the earthquake early warning message and the danger spots in the university campus. Using these results, we proposed suitable anti-earthquake measures for the university campus by using earthquake early warning system.

*Key Words: Tonankai earthquake, Nowcast earthquake information, university campus, risk management, earthquake disaster countermeasure*