

「地域防災計画」のための調査(4)

今村遼平・足立勝治

(2) 地盤の液状化に関する素因

阪神・淡路大震災でも六甲アイランド・ポートアイランド・沿岸域の埋立地などを中心に、広域にわたって地盤の液状化がおきました。わが国における地震と地盤の液状化現象についての研究は、若松加寿江（1993）によって総合的にまとめられています。それによると、有史以来現在までの約1500年間(416年～1992年)に、123回の地震によって日本全国にわたって3000以上の地点で液状化が発生している。とくに、大河川下流部の沖積平野や内陸部の盆地に集中しているようです。過去に液状化がおきた地震の最大は $M=8.4$ であり、最小は5.2です。つまり、気象庁の震度階でいうと震度Ⅳから発生しはじめ、Ⅴ以上の地域に集中して発生しています。まれに震度Ⅲの地域で発生したこともあるようです。

これまでの研究によると、液状化の発生する可能性のある震央からの距離の上限は、次のようになります。

$$\log Re = 2.22 \log (4.22M - 19.0)$$

$$(M \geq 5)$$

Re：限界震央距離 (km)

M：気象庁マグニチュード

また、液状化による顕著な被害を生ずる可能性のある震央からの距離の上限は、次式であらわされます。

$$\log Rd = 3.51 \log (1.4M - 6.0)$$

$$(M \geq 5)$$

Rd：顕著な被害を生ずる限界震央距離 (km)

M：気象庁マグニチュード

液状化を生ずる加速度の下限値は、地震のマグニチュード M に依存し、 $M < 6.5$ の地震では 110 cm/S^2 (gal) 程度、 $6.5 \leq M < 8.0$ の地震では 80 cm/S^2 (gal) 前後のようです。全国124箇所でも複数回の液状化がおきており、1回目の地震における震度より2回目の方

が大きいという傾向になり、つまり一度液状化した地盤は、それ以降の地震で液状化しにくくなるとは言えないようです。

地盤の液状化発生の素因は、地盤の微地形と密接な関係があり、液状化履歴の多い微地形は表-6のようになり、逆に液状化のおきにくい地盤の微地形（扇状地地形・後背湿地・三角洲・砂丘・砂州など）を加味すると、低地部の微地形と地盤の液状化被害の可能性の大小は、表-7のようにまとめられます。

表-6 液状化の履歴が多い微地形区分とその地盤特性

微地形区分	微地形細区分	微地形条件に起因する土質特性	地下水位	浅い地下水位の要因
緩勾配扇状地	扇端部	中密の河成砂礫 (細砂～砂礫)	極めて浅い	扇端湧泉帯
自然堤防	自然堤防縁辺部・外縁部	ゆるい河成砂 (シルト質砂～粗砂)	浅い	河道・旧河道に隣接
ポイントバー		ゆるい河成砂 (シルト質砂～粗砂)	浅い	同上
旧河道	新しい(明瞭な)旧河道	ゆるい河成砂 (細～中砂)	極めて浅い	旧河道伏流水
砂丘	砂丘末端部・砂丘外縁部	ゆるく均一な風成砂 (細～中砂)	極めて浅い	砂丘末端湧泉
砂丘間低地・堤間低地		ゆるく均一な風成砂 (細～中砂)	極めて浅い	湿地が多い
干拓地		ゆるいデルタ性砂 (細砂)	極めて浅い	地表面が旧水面以下
埋立地	新しい埋立地	ゆるい埋立地 (浚渫砂・山砂)	比較的浅い (旧水面付近)	水面の埋立て
盛土地	砂丘と低地の境界部の盛土地	ゆるい盛土地	浅い	砂丘末端湧泉
盛土地	崖・急斜面に隣接した盛土地	ゆるい盛土地	浅い	台地・段丘崖湧泉
盛土地	谷底平野上の盛土地	ゆるい盛土地	浅い	谷の側壁における湧泉
盛土地	湿地(谷地)上の盛土地	ゆるい盛土地	浅い	旧水面が盛土底面以下
盛土地	干拓地上的盛土地	ゆるい盛土地	浅い	同上

液状化しやすいのは、①表層部にゆるい砂～礫質土が堆積しており、②地下水位の浅い微地形単元だということが出来ます。なお、三角州と古い埋立地は、これら、①、②の条件を満たしているにもかかわらず液状化傾向が低いようで、これにはいくつかの理由が考えられています。

表一 7 微地形分類による地盤表層の液状化被害の可能性

微 地 形		震度Ⅴ程度の地震動による液状化被害の可能性*
区 分	細 区 分	
谷底平野	扇状地型谷底平野 デルタ型谷底平野	小 中
扇状地	急勾配扇状地・沖積錐 緩勾配扇状地	小 中
自然堤防**	自然堤防 比高の小さい自然堤防 自然堤防縁辺部	中 大 大
ポイントバー（蛇行州）	—————	大
後背湿地	—————	中
旧河道	新しい（明瞭な）旧河道 古い（不明瞭な）旧河道	大 中～大
旧池沼	—————	大
湿 地	—————	中
河 原	砂礫質の河原 砂泥質の河原	小 大
デルタ（三角州）	—————	中
砂丘** （砂嘴・浜堤を含む）	砂州 砂礫州	中 小
砂丘**	砂丘 砂丘末端緩斜面	小 大
海浜	海浜 人工海浜	小 大
砂丘間低地・堤間低地	—————	大
干拓地	—————	中
埋立地	—————	大
湧水地点（帯）	—————	大
盛土地	砂丘と低地の境界付近の盛土地 崖・急斜面に隣接した盛土地 谷底平野上の盛土地 低湿地上の盛土地 干拓地上的盛土地 その他の盛土地	大 大 大 大 大 大 原地形に準ずる

*：液状化に伴う変状が地表または浅い基礎で指示されている構造物に現れるような被害

液状化の可能性「大」：液状化被害が発生する可能性が極めて高い、

「中」：可能性が少しはある、「小」：可能性はほとんどない。

**：各微地形区分の外縁部を含む。

地盤の液状化は低地微地形と密接な関係があるところから、微地形を鍵に、液状化に対する素因の面での危険度を4ランク区分することができます。

このためには、地形分類図・土地条件図などの既存資料、もしくは空中写真判読、地震の災害記録などをもとに、図-7の流れにもとづいて液状化予測のための地形分類図を作成し、これを液状化の危険度ランク（A-D）に読みかえます。図-8は、このようにして作成した「液状化危険度分布図」（1/10,000）です。

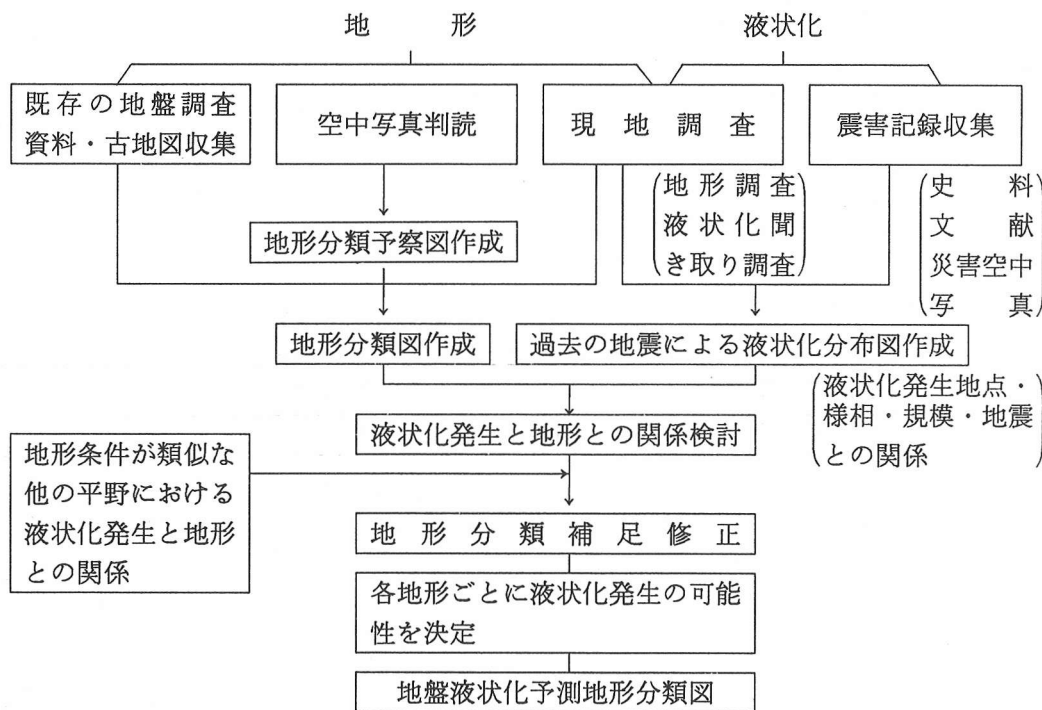


図-7 地盤液状化予測地形分類図作成手順（若松：1983）

(3) 斜面崩壊に関する素因

阪神・淡路大震災での斜面崩壊は、地震の大きさの割には比較的少なかったようですが、それでも宝塚市の仁川では大規模な崖崩れがあって、30余人の命が奪われました。1993年7月12日の北海道南西沖地震では、奥尻島北部の宮津の海岸域では斜面崩壊によって家屋が倒壊し、道路が遮断されています。古くはえびの地震（1968年2月21日）や大分県中部地震（1975年4月21日）などでも多数の斜面崩壊がおきている。

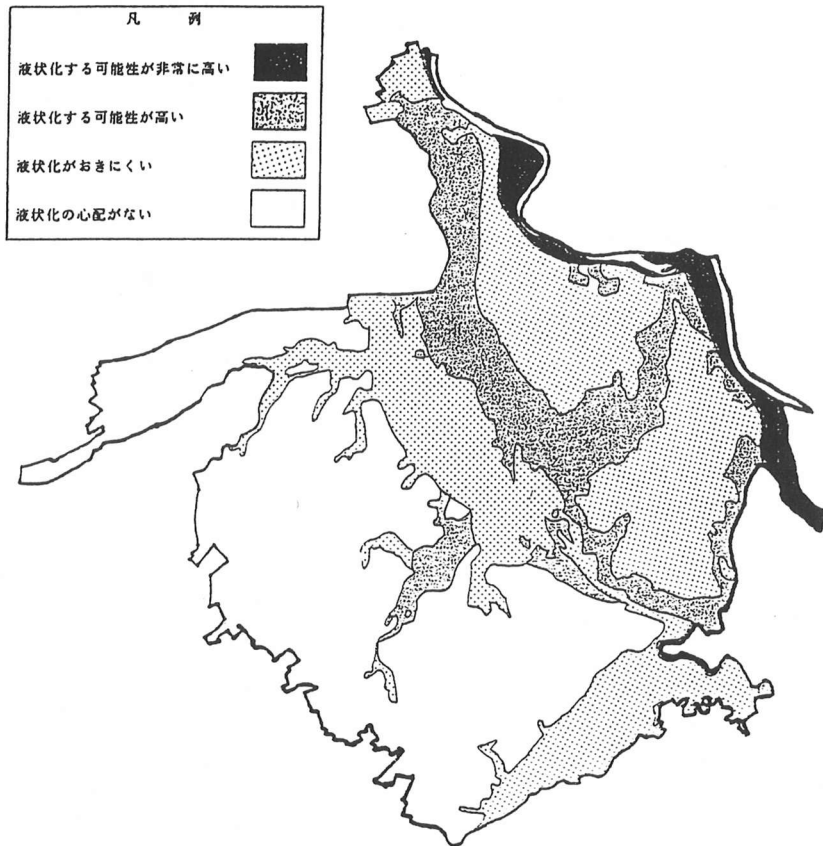


図-8 液状化のしやすさ分布図

地震による斜面崩壊の実態は、えびの地震や大分県中部地震でくわしく調べられています。その結果をみると（図-9）、山地斜面では、

- (1) 傾斜の急な斜面（ 40° 以上）に多い
- (2) 複合型や上昇型斜面に多い
- (3) 遷急線付近の凸部に多い

といった特徴がある。これを豪雨による崩壊とを比較すると、地震による崩壊の性格が明確となります。すなわち地震による斜面崩壊は、傾斜角では 40° 以上の急傾斜地、斜面の縦断形では複合型の凸斜面部に発生しやすいことがわかります。

以上のような実態が明らかになってはいますが、対象地が広域にわたるため、危険域を特定する決め手となる条件の絞り込みが困難です。そのほか最近では都市近郊の崖地の近

くにも多くの人が住むようになり、台地の周縁部や丘陵地斜面などが宅地造成され、崖崩れのおきやすい条件が著しくふえています。このような実態をふまえ、地域防災計画上は対象地域の斜面を、次のようにランク区分して評価することが多いようです。

〈危険度A〉

- 1) ①急傾斜地崩壊危険区域（急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律）および②急傾斜地崩壊危険箇所
- 2) ①地すべり防止区域（地すべり防止法）および②地すべり危険箇所
- 3) ①崩壊危険のある災害危険区域（建築基準法にもとづく条例）

①は法律で定める危険箇所 nationwide、急傾斜地81,850ヵ所、地すべり地20,794ヵ所（建設省所管11,042、農水省所管9,752ヵ所）があります。いっぽう②は市町村で地域防災計画などで明示している災害危険箇所で、法律指定の区域とそれ以外の危険箇所の合計であって、急傾斜地崩壊危険箇所が82,029ヵ所、地すべり危険箇所18,755ヵ所です。

急傾斜地法では、「急傾斜地崩壊危険区域」を次のように定めています。

- (1) 傾斜が30°以上
- (2) 急傾斜部の高さが5 m以上
- (3) しかも崖や急傾斜の下に5戸以上の人家や公共施設のあるところ

したがって、市町村の地域防災計画では急傾斜地のランクを

① 法律で定めた急傾斜地崩壊危険区域	……ランク A
② それ以外で上記(1)–(3)の条件をみだす危険箇所（市町村の指定する箇所）	……ランク B
③ ①②の近傍で、人家5戸以上で、(1)(2)の条件のいずれかを満たす急傾斜地	……ランク C

といった基準でランキングすることが多いようです。ただ、現実には豪雨による崩壊危険箇所と地震による崩壊危険箇所とを区別はしていません。

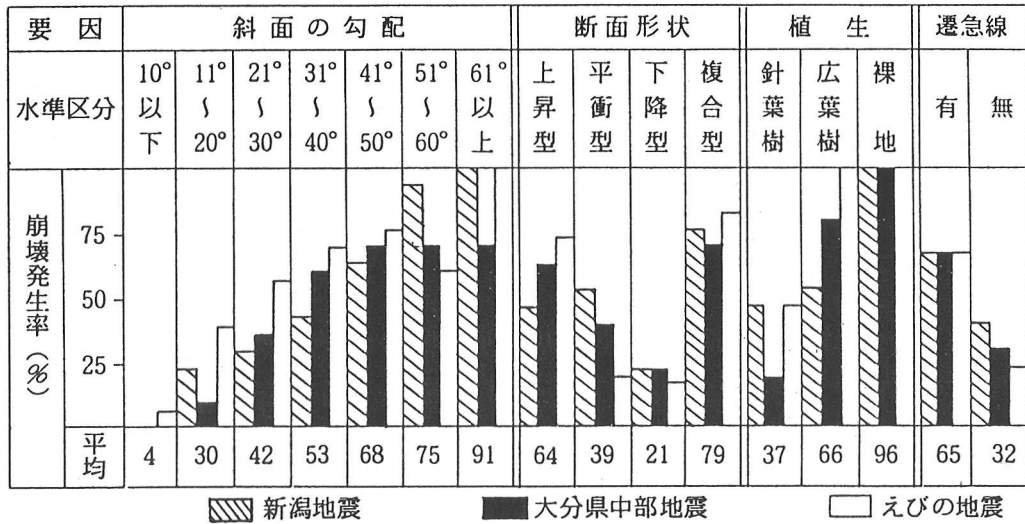
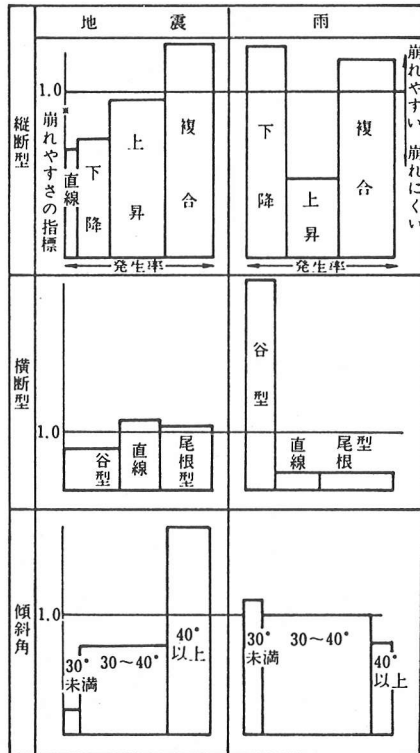


図-9 地震要因と崩壊発生率 (奥園：1983)

(注) 地形要因のなかで上昇型とは上に凸型、下降型は上に凹、複合は上部が凸、下部が凹(つり鐘型)の斜面形状をいう。また遷急線とは、斜面の上方から下方に向かって傾斜が緩から急に変化する点を連ねたものをいう。



崩れやすさの指標 = 崩壊斜面の頻度率 / 非崩壊斜面の頻度率

図-11 山腹地形と崩壊 (反町ら：1978)

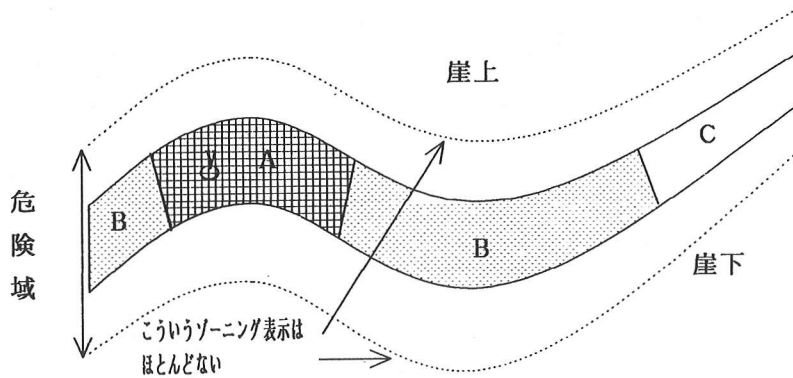


図-10 地域防災計画での崖崩れ危険地のゾーニング

(4) 津波に関係する素因

津波の波高は湾の形（湾口と湾奥の幅の変化）によって著しくちがいます。湾の入口が1,000mのV字型の湾では、湾の幅100mに狭まったところまでくると波高は3倍になる。つまり湾口で2mの津波も6mになります。表-8は明治29年以降3時期の東北地方における津波の浸水高です。

同表でみると、

- (1) 大きい湾で3-6m
- (2) V字型の湾で10-25m
- (3) U字型の湾で8-10m
- (4) 扁平な海岸で5-7m

ということになります。つまり、外洋に向けた海岸での津波の高さは、海岸の形と深さに著しく支配され①リアス式海岸のV字型、②U字型、③直線的海岸の順に、湾奥での波高は高くなります。つまり、「V字型の湾型で急深リアス式海岸」が最も危険といえます。

海岸への到達後はまったく陸側の地形に支配され、通常、海岸部の地形にしたがって、津波の波高よりかなり高いところまで遡上します。すなわち、次のような特徴があります。

- (1) 河川沿いに最も内陸側まで侵入します（大河川では10キロ以上に達することになり）大河川では5キロ遡上して1m、中小河川では500m遡上して1mくらい波高が減じます。

- (2) 海岸平野では、勾配が1/1000程度のところでは、1キロ遡上して1～1.5mの波高の減衰があります。
- (3) 5/1000くらいの勾配をもった海岸平野でも、三角形をした海岸平野全体を遡上して、海岸での波高より高いところまで遡上します。(明治29年の三陸津波で気仙沼市・大島の田中浜では方向9mまで遡上しています。)
- (4) 河岸沿いに防潮堤(2.5程度)のあるところは、被害をまぬがれることが多い。

表-8 津波浸水高表 (T. P. 上)

(岩手県、1969)

地名	湾名	明治29年	昭和8年	昭和35年 チリ地震津波	摘要
八戸	八戸港	3.0m	4.6m	3.0m	偏平
八木	八木港	18.0	7.2	3.1	偏平
久慈港	久慈湾	—	8.7	4.5	大きなU字形
野田	野田湾	20.0	15.6	4.4	偏平
普代	普代湾	—	16.9	4.3	小さいU字形(偏平)
小本		11.8	13.4	4.1	小さいU字形(偏平)
田老		14.6	6.4	4.3	小さいU字形
宮古	宮古湾	9.1	8.2	2.0	大きい湾
金浜	宮古湾	6.3	3.5	5.6	大きい湾
姉吉	山田湾湾口	18.8	14.0	3.0	小さいV字形
大沢	山田湾	3.9	4.4	4.0	大きい湾
山田	山田湾	5.5	4.2	3.3	大きい湾
大槌	大槌湾	4.2	3.4	4.0	大きい湾
両立	両立湾	11.7	9.5	3.5	V字形
釜石	釜石湾	6.0	4.4	3.0	2重V字形
本郷	唐丹湾	15.3	9.9	—	小さいV字形
小白浜	唐丹湾	17.3	12.1	3.0	V字形
吉浜	吉浜湾	26.3	14.6	4.8	V字形
越喜来	越喜来湾	11.3	6.3	3.4	V字形
白浜	綾里湾	38.2	29.3	4.9	V字形
大船渡	大船渡湾	5.8	3.1	5.5	大きい湾
細浦	大船渡湾	5.8	3.8	2.7	大きい湾
沼田	広田湾	—	3.5	5.4	大きい湾
長部	広田湾	4.6	3.6	5.2	大きい湾
只越	広田湾	10.5	8.5	4.6	大きい湾
志津川	志津川湾	3.8	2.2	4.9	大きい湾
女川	女川湾	3.3	2.5	3.7	大きい湾
鮎川	石巻湾	2.1	1.3	1.5	大きい湾
石巻	石巻湾	0.6	1.0	1.7	大きい湾
塩釜		—	0.2	2.4	大きい湾

注) T. P. (東京湾中等潮位) とは、東京湾霊岸島の明治6年6月から明治12年12月までの記録のうち、欠測期間を除いた6年3ヵ月間の高・低潮位の平均値として定められたものである。日本においては、陸地の高さの基準として用いられる。

このように津波の被害は①湾が外洋側に向いているかどうか、②湾形がV字型・U字型か、③海岸の地形、④防潮堤の有無などによって規制されるため、これら地形的要素を中心に (a)精度のいい地形図 (1/2500国土基本図や土地計画図など)、(b)土地条件図、(c)地形分類図などから危険度をランク分けしていきます。(図-7)。

なお、飯田波事(1977)は津波のマグニチュード(m)と地震のマグニチュード(M)との間には、各海域について次のような関係があり、

- $m=5.4M-39.5$ (北海道南東沖)
- $m=4.0M-29.2$ (相模灘・房総沖)
- $m=2.6M-18.0$ (東海・南海沖)
- $m=2.5M-16.1$ (日本海)
- $m=2.0M-14.2$ (日向灘)

津波のマグニチュード(m)と津波の波高、被害の程度との間には表-9の関係があることをしめしており、ひとつ大まかな目安となるでしょう。

表-9 津波のマグニチュードmと津波の高さH(m)、被害程度(飯田:1977)

津波のマグニチュード	津波の波高H(m)	被害の程度
-1	0.5	なし
0	1	非常にわずかの被害
1	2	海岸および船の被害
2	4-6	若干の内陸までの被害や人的損失
3	10-20	400km以上の海岸線に顕著な被害
4	30	500km以上の海岸線に顕著な被害

2) 社会的素因

地震災害が発生にたいして、人間社会自体が災害の素因となるものを「社会的素因」と呼んでおり、次のような地域が考えられます。(自治省消防庁、1984)。

1. 被害をうけると、より高次の災害を発生させるおそれのある地域
 - (1) 堤防・護岸破壊による水害の危険性のある地域
 - (2) 地震災害の危険度のある地域
 - (3) 危険物の漏洩・拡散・流出の危険性のある地域
2. 人が密集していて、社会的な混乱が発生するおそれのある地域

(1) 堤防・護岸の破壊による水害

軟弱地盤上にある堤防や護岸は、災害素因の項で述べたように地震時に破壊される危険性が高い。例えば、1964年の新潟地震では阿賀野川・信濃川の堤防が沈下・陥落し、とくに下流部旧河道の液状化による破壊が大きかったし、1987年の宮城県沖地震でも阿武隈川・名取川・七北田川・北上川・鳴瀬川・吉田川などで堤防に亀裂・陥没が生じています。このことから、

- ① 軟弱地盤上の堤防や護岸を地形図や既存資料から抽出し、
- ② さらにその近傍で地盤高の低い浸水危険地域を見当づけます。

(2) 地震火災

関東大震災や阪神・淡路大震災での例のように、地震時の火災は、同時多発的に出火するため、消防活動が十分に対応できずに火災は延焼・拡大し、大きな人的・物的被害に発展しやすい。

防災アセスメントでは、地震火災にたいする (a)出火危険度と (b)延焼危険度の高い地域を概略もとめます。このためには、①常時火気をつかっている施設や②石油・化学薬品等取扱施設など、地震時に出火危険度が高いとおもわれる施設を地形図上にプロットし、素因である地盤特性を考慮して、地震時の出火危険度の高い地域を選びだします。

これらの施設の出火危険度は、表-10などをもとにウエイトづけして評価します。

表-10 危険物施設の出火危険ウエイト (東京都消防庁、1974)

施設名	ウエイト	施設名	ウエイト
製造所	9.95	第一種販売取扱所	2.50
屋内貯蔵所	2.00×10^{-1}	第二種販売取扱所	4.00×10^{-3}
屋外タンク貯蔵所	2.00×10^{-1}	営業用給油取扱所	5.00×10^{-3}
屋内タンク貯蔵所	1.00×10^{-1}	自家用給油取扱所	1.00×10^{-2}
地下タンク貯蔵所	1.00×10^{-2}	一般取扱所	2.99
簡易タンク貯蔵所	1.02	給灯の一般取扱所	1.01×10^{-2}
移動タンク貯蔵所	1.97×10^{-2}	少量危険物貯蔵取扱所	4.97
屋外貯蔵所	4.00		

注) ウエイトの値は相対値である。

木造家屋の密集した地域については、発火した場合、延焼しやすくて大火になりやすい地域を「延焼の危険性のある地域」として抽出します。その場合、次の条件を重要視します。

- ① 道路が狭い。
- ② 消防水利が不足している。
- ③ 消防力が不足している。

これらの地域はふつう地元の消防機関等が「火災危険区域」として指定していることが多いので、それらの資料をもとに延焼危険地域を抽出します。たとえば1/2,500～1/10,000地形図をつかって、次のような要素にもとづいて抽出します。

- (1) 6 m以上の道路で区画されたブロック内で、木造建物の棟数が70%以上の地域
- (2) ブロック内に危険物製造所など発火しやすい施設があって、木造建物の棟数が50%以上の地域
- (3) ブロック内の建物から半径140m以内に水利のない地域
- (4) 消防ポンプの侵入が困難であったり警防活動に支障となる地域

このほかにも手法はいろいろあるのですが、地震火災の要因としては、火災発生の素因と延焼素因の双方を加味して評価していくことが大切です。

(3) 危険物災害をもたらす要因

地震発生時に、施設の破損などによって危険物が流出・拡散・爆発・燃焼して被害が広がる要因を「危険物災害をもたらす要因」とします。これには次の二とおりがあります。

- ① 可能性危険物の流出・拡散・爆発・燃焼にともなうもの
- ② 毒劇物の流出・拡散などにともなうもの

基礎アセスメントでは、消防機関のもつ資料をもとに、㉑これらの施設の分布や㉒危険物量（指定数量）の実態を把握しておきます。これら危険物施設の調査は地震火災の出火危険度の把握のための調査と重なるので、表-11のような危険物を多量に貯蔵もしくはとり扱う施設と量を調査します。

表-11 危険物の類品名出火危険ウエイト（東京都消防庁、1974）

類	品名	指定数量*	1指定数量当りのウエイト
第一類	塩素酸塩類	50	4.1183
	過塩素酸塩類	50	4.1183
	過酸化物	50	4.1183
	硝酸塩類	1,000	0.9209
	過マンガン酸塩類	1,000	0.9209
第二類	黄りん	20	5.2820
	硫化りん	50	3.3407
	赤りん	50	3.3407
	硫黄	100	2.3622
	金属粉A	500	1.0564
	金属粉B	1,000	0.7470
第三類	金属「カリウム」	5	11.2783
	金属「ナトリウム」	5	11.2783
	炭化カルシウム	300	1.4487
	りん化石灰	300	1.4487
	生石灰	500	1.1278
第四類	特殊引火物	50	3.1464
	第一石油類	100	2.2249
	さく酸エステル類	200	1.5723
	ギ酸エステル類	200	1.5723
	メチルエチルケトン	200	1.5723
	アルコール類	200	1.5723
	ピリジン	300	1.2281
	第二石油類	500	0.9950
	第三石油類	2,000	0.4975
	第四石油類	3,000	0.3854
	動植物油類	3,000	0.3854
第五類	硝酸エステル類	10	10.0000
	セルロイド類	150	2.5884
	ニトロ化合物	200	2.2354
第六類	発煙硝酸	80	1.5811
	発煙硫酸	80	1.5811
	クロールスルホン酸	80	1.5811
	無水硫酸	80	1.5811
	濃硝酸	200	1.0000
	濃硫酸	200	1.0000
	無水クロム酸	200	1.0000

注) ウエイトの値は、相対値である。

* 指定数量の詳細は、消防法の「第三章危険物」及び「別表」を参照のこと。

(4) 社会的混乱をきたす要素

地震発生時に人口集中地区での直接被害にむすびつく社会的要素をここでは「社会的混乱を来す要素」とします。これらの要素は地震のもたらす各種の災害の危険を回避しようとする際、あるいは家族の安否や災害の拡大・変化などに関する情報を得ようとする際などに発生しやすい。とくに避難行動ともなる要素や帰宅行動ともなる要素が大きいようです。このような要素が災害を大きくしやすい場所として、次の地域があげられます。(自治省消防庁、1989)

a) 不特定多数の人が出入りする大規模な施設

- ① 駅やバスターミナルなど
- ② 地下街
- ③ 高層建築物
- ④ 映画館・劇場・スタジアム・大規模なデパートなど

b) 人口の集中している次のような地域

- ① 広範囲にわたる水害危険地域
- ② 広範囲にわたる延焼危険地域
- ③ 広範囲にわたる危険物災害の危険地域

c) 混乱を生じやすい避難地

- ① 安全なスペース不足の避難地
- ② 入口の狭い避難地

d) 混乱を生じやすい避難路

- ① 長距離の避難路
- ② 日頃の行動と違った経路の避難路
- ③ 危険箇所(自然的あるいは社会的に)の多い避難路

e) 移動・避難時のネックとなりやすい場所

- ① 交通量の多い道路や日常的に渋滞する道路
- ② 交差点
- ③ 河川・橋
- ④ 坂
- ⑤ 崖

これらの地域の混乱は、災害の迫る速度によって差異がありますが、社会的素因として既存資料や現地調査によって把握し、地形図上にマークしておいて、地域の危険性を総合的に評価するさいに加味すべき要素です。

(アジア航測株)