## 1. 地形・地盤条件

広い常陸台地の南部を占める稲敷台地に、龍ヶ崎ニュータウンはあります(図1). 住宅地が展開する台地面の標高は 20~25mで、小貝川低地との比高が 15~20m あります。台地を構成するのは砂質

の洪積層で、かなり硬く締まっています. その表層は、箱根・富士火山から飛来した火山灰の風化層(関東ローム層)および砂礫層・粘土層により数mほどの厚さに覆われています.台地は多数の谷で刻まれ、その谷壁には崖が連なり、谷底は表層が非常に軟弱な湿地・谷津田になっています.

標高が 4~6m の小貝川低地は, およそ 1.8 万年前以降に鬼怒川が運んできた砂泥の沖積層からなります. その厚さは低地中央部で 40m を超えます. なお, 江戸初期の河道付替え工事以前は, ここを鬼怒川が東に向け流れていました.

このような洪積台地において問題と

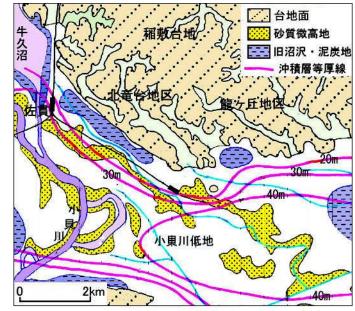


図1 地形・地盤条件

なる災害は、ほぼ地震(地盤強震動)に限られます。締まりの緩い砂層は存在しないので、液状化は 起こりません。台地面上では、洪水・土砂災害の危険はほとんどありません。台地は災害の危険が総 合的にみて最も小さい地形です。茨城県は台地の面積比率が全都道府県中で最大です。

各地点における地震の揺れの強さ(震 度)を決める主要因は、地震の規模(M)、 震源からの距離およびその場所の地盤 条件です。

稲敷台地の地盤条件は、厚さ 4m ほどのローム層・粘土層 (N値 2~6) と厚さ10m ほどのやや締まりの緩い砂層 (N値10~30) が上部にあり、その下は硬く締まった砂層からなるというものです (図2). 洪積砂層は堆積してから10数万年以上経っているので、このようによく締まっています. N値は地層を抜き取るサンプラーを叩き込む回数により地層の軟らかさ・締まりの程度を表すもので、大きいほど硬いことを示します.

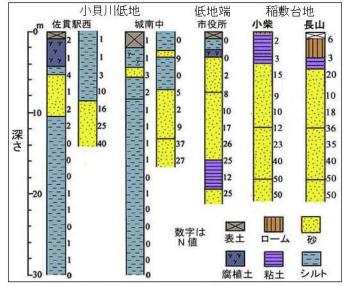
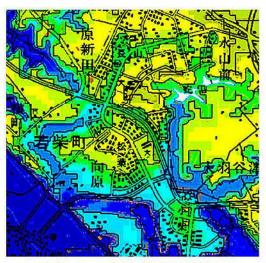
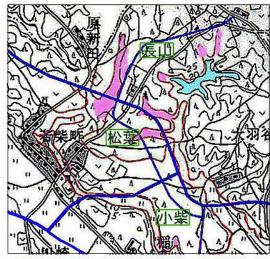


図2 ボーリング柱状図 城南中の場所は図1のJ

一方小貝川低地中央や佐貫駅西方には、地下 40m 近くまでが N 値ほぼ 0 の泥層があります。 N 値 0 とは、サンプラーを叩かなくても沈み込んでしまうという、極めて軟弱な地盤であることを示します。

このような N 値の大きさの比較から、台地の地盤が低地に比べかなり硬いということが感じ取れるで しょう. 地震動増幅の程度は、軟弱沖積層の厚い小貝川低地中央部に比べ稲敷台地南部では半分程度 であると評価されています (地震調査研究推進本部による基盤層に比べた地震動増幅率).





ニュータウン建設の前(右図 ,1969 年) および後(左図) の地形図 左図では標高を色分けで示している. 右図のビンク域は主な谷埋め値

1980年ごろに行われたニュータウン土地造成による平坦化工事によって、台地面での盛土・切土が 大規模に行われました.これにより,元の地形が推定できないように改変されたところがあります. 台地面上に浅い谷が伸びているところでは、やや厚い埋め土が行われて地盤条件が多少悪くなってい ます(図3). 埋め土の材料はほぼ粘土(ローム)です. 液状化を起こすような砂は使われていません. 切り通し道路の側面には、比高・傾斜のやや大きい切取りのり面があります。

### 2. 地震の規模と震度

この地域に大きな影響を及ぼす地震には、① 関東平野南部の地下で起こる直下型地震、② 東方沖 を南北に伸びる日本海溝沿いの巨大地震および茨城・福島沖で発生する海域の地震, ③ 相模湾から

南東に伸びている相 模トラフで起こる海 溝型巨大地震があり ます (図4).

海溝域での地震は, 震源からかなり離れ るものの M8 クラスと 規模は大きいので、こ の地区にも強い揺れ をもたらします. 直下 地震は震源が近いの

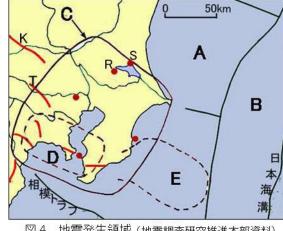


図 4 地震発生領域(地震調査研究推進本部資料)

- A: 茨城県沖の地震 M6.7 ~ 7.2 30 年確率 95%
- B:日本海溝寄りのブレート間地震 30 年確率 30%程度 M8.6 ~ 9.0 412年間に4回 (2011年を含む)
- C: 南関東の M7 クラス地震 M6.7 ~ 7.2 30 年確率 70%程度 120 年間に5回(震央を赤丸で示す)
- D:大正型関東地震(破線は想定震源域) M79 30年確率 018%
- E:元禄型関東地震 M8.1 30年確率ほぼ0%
- T:立川断層 M7.4 30年確率 0~2%
- K: 関東平野北西縁断層帯 ほぼ0% その他の活断層は30年確率がほぼ0% あるいは M6 クラス
- S: 1895 年霞ヶ浦付近の地震
- R: 1921 年龍ヶ崎の地震

で、比較的規模は小さくても震動は大きくなる可能性があります。

#### 2.1 直下型地震

最も頻繁に発生しているのが①の直下型地震です(図 5). マグニチュード(M)は一般に 3~4 クラ スであり, M5.0 以上は年に1回程度, M5.5 以上は4年に1回ほどの頻度です. 最大は1895年霞ヶ 浦付近地震の M7.2, 次いで 1921 年龍ヶ崎地震の M7.0 です. なお, 昔の地震の規模は被害発生の範囲などから推定されており, 少し大きめになっているようです. 震源はかなり深くて, 茨城南部直下の地震では深さが決まって 50km 前後です. 震源がこのように深くて離れていると, 地表での揺れはかなり弱まります. 通常, M7.0 の地震による震度 5 強以上の強震動域は震央(震源の真上の地表)から 30~50km の範囲内です.

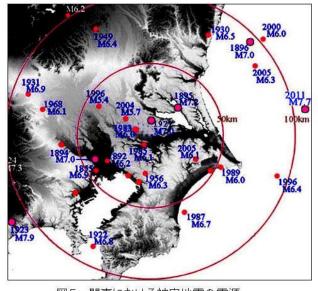


図5 関東における被害地震の震源

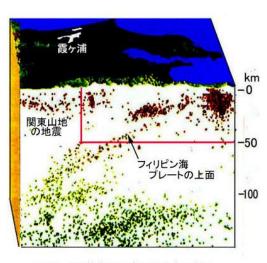


図 6 関東地下における震源断面 M2 以上, 1987 ~ 1996 (地震調査研究推進本部資料)

関東平野の地下には南から約35°の角度でフィリピン海プレートが潜り込んでおり,平野南部ではその上面付近を震源とする地震が頻繁に発生しています。その深さは茨城南部で50km, 筑波山西方で約80kmです(図6)。これよりも浅いところではほとんど地震は起こっていません。発生は頻繁なので地殻歪はすぐに解消されて地震規模は大きくはならないと考えられます。

1895 年の霞ヶ浦付近の地震(M7.2)は阪神大震災に近い規模でしたが、全体の被害は家屋全壊 37 戸などと大きくはなく、霞ヶ浦湖岸低地で局地的に震度 6 弱程度、台地では震度 5 以下と推定されます。1921 年の龍ヶ崎の地震(M7.0)は、震源が阿見直下、深さは 60km で、被害は龍ヶ崎も含めほとんどありませんでした。

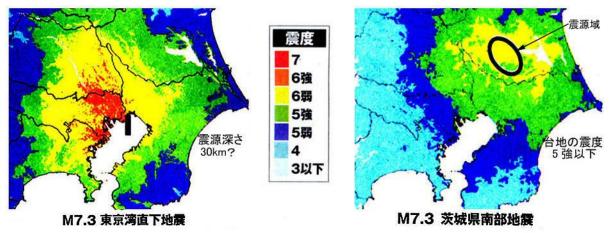


図7 首都直下地震による震度の想定(内閣府資料)

種々の首都圏直下地震による震度分布の想定がなされていますが(内閣府資料),これによるとM7.3

の茨城県南部地震(震源深さ 50km?)による稲敷台地南部における震度は 5 強となっています(図7). 東京湾直下地震(M7.3)のときの震度もほぼ 5 強です. この場合には震源深さが 30km ほどと浅いので、震度 6 強域は広く、下総台地での震度は 6 弱になっています. 震源深さの違いはこのような違いをもたらします.

茨城南部には活断層(地表にずれを起こしている断層)はありません。活動的な活断層で最も近くにあるのは、西に 60km ほど離れた立川断層です(図 4). これが活動した場合(M7.3)の龍ヶ崎における震度は4と推定されています。関東平野北西縁断層帯の活動の確率は極めて低いのですが、それが活動した場合の龍ヶ崎における震度は4程度です。

南関東において今後30年以内にM7クラス地震の起こる確率が70%,という評価が政府機関によってなされています。これは、図4のCの領域を対象にし、ここで最近120年間に、1987年千葉県東方沖地震など5回のM7クラス地震(図4の赤丸)が起っており、その平均間隔が24年であることに基づいたものです。M7規模地震の強震動域は一般に、この広いC領域の半分程度なので、実質の確率は70%の半分程度と受け取ったほうがよいでしょう。1987年千葉県東方沖地震(M6.7)による龍ヶ崎(震源距離60km)の震度は4で、強震動域からは全くはずれています。

# 2.2 海溝型巨大地震

日本海溝における太平洋プレートの沈み込みに伴う巨大地震は、岩手・宮城沖で頻繁に起っており、 茨城・福島沖では発生の記録がなかったのですが、2011年に宮城沖を震源とし犬吠埼東方沖にまで震

源域(断層ずれ域)が伸びるという M9.0 の超巨大地震が起こりました(図 8). 本震の 30 分後には鹿島灘で M7.7 の大きな余震(エネルギーは大正関東地震の半分)が発生しました. これにより茨城沖では地殻歪がほぼ解消されていて,巨大地震の発生はここ当分は無いと判断されます.

2011 年東北地方太平洋沖地震は M9.0 (エネルギーは M7.0 の 1 千倍) と巨大規模であったので、茨城南部は震源から 350km も離れていたものの、震度 6 弱~5 強の強い揺れになりました。計測震度は龍ヶ崎 5.2、取手 5.5、つくば 5.6、土浦 5.6、江戸崎 5.3 などで、震度はこれを四捨五入した値にて示されるので、震度 6 弱地区の実際の揺れは 5 強に近いものとなります。鹿島灘における M7.7 の最大余震による龍ヶ崎(震源距離 80km)の震度は 5 弱でした。

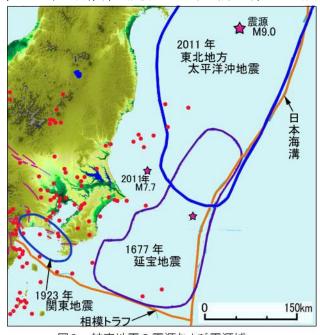


図8 被害地震の震源および震源域

図 4 に示すように鹿島灘では M7 クラス地震がかなり頻繁に発生しています. 2011 年以前の最大は 1936 年の福島沖における M7.5 でした,このように頻発しているので,今後 30 年の発生確率は 95% と非常に高く評価されています. 震源距離は 100km ほどなので,この地震による龍ヶ崎の震度は最大 5 弱程度です.

1998年に震度計により自動決定される計測震度が全面的に導入され、それ以前の総合判断による旧震度とは揺れの強さや被害の大きさがかなり違ってきています。住家全壊率についてみてみると、計

測震度では1桁以上も小さいものになります.

フィリピン海プレートが沈み込む相模トラフにおける海溝型巨大地震の発生間隔はかなり長くて、およそ 500 年以上です。トラフ北部の相模湾域では、1923 年に大正関東地震(M7.9)が起っており、今後 30 年以内の発生確率は 0.2%程度とされています。この地震による稲敷台地(震源距離 110km)の震度は 5 以下でした。房総半島南方では 1703 年に元禄地震(M8.1)が起っています。この発生間隔は 1000 年近いようで、30 年確率はほぼ 0%と評価されています。

日本海溝と相模トラフとに挟まれる房総半島東南方海域では、1677年に延宝地震 (M8.0~8.3) が発生し、大きな津波被害を千葉・茨城・福島海岸にもたらしました。一方陸上での被害は小さく茨城内陸での被害は記録されていないので、断層が比較的ゆっくりとずれたという津波地震と判断されます。津波の規模から、震源域 (波源域) は茨城沖に伸びだす広い範囲に拡がったと推定され、地震規模も大きく見積もられています。

大吠埼沖よりも南方にある地震空白域において次の延宝地震が発生した場合,規模は8.0を超え,断層破壊が速く進行して津波地震的でないと,茨城南部にも強い揺れをもたらす可能性があります. ただし,震源距離は200km ほどもあるので,稲敷台地での震度は5強程度でしょう.

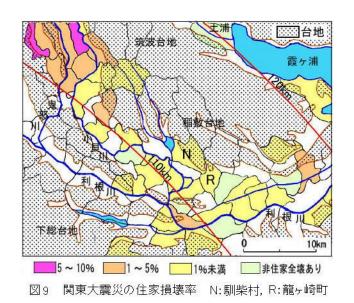
## 3. 地震被害の規模

これまでに起った地震による被害は、揺れ の強さや危険域(地盤の悪い場所など)を判 定する重要な手がかりになります。住家全壊 率は震度に読み替えられ、昔の地震の震度は 専らこれにより推定されています。

関東大震災による県南(稲敷・新治・筑波・ 北相馬の4郡)の被害は死者1,住家全壊26, 半壊62などで、全壊率は0.1%でした。龍ヶ 崎地区(震源からの距離110km)では全壊5 (龍ヶ崎町3, 馴柴村1, 川原代村1), 半壊 3(龍ヶ崎町)であり、龍ヶ崎町の全壊率は 0.02%(震度は5弱相当)でした。

全県の被害は死者 5,全壊 137,半壊 342 などで、ほぼ小貝川・鬼怒川・利根川低地に

はこの低地部で生じたものと思われます.



その発生は限られました(図 9)下妻など鬼怒川・小貝川低地にある町村では,震度 6 弱になったところがありました.一方台地では住家全半壊はなくて,震度は 5 弱程度であったと推定されます.現在北竜台がある場所は当時は馴柴村でしたが,この村域は佐貫駅の周辺低地も含んでおり,全壊 1 戸

直下地震で被害が最も大きかったのは、1895年の霞ヶ浦付近の地震で、被害は関東地震とほぼ同じ大きさでした。被害のほとんどは霞ヶ浦湖岸低地で生じたと思われます。馴柴村・龍ヶ崎町が属する稲敷郡での被害は報告されていません。1921年龍ヶ崎の地震(M7.0、深さ60km)では、最大震度4

東日本大震災による県南地方(14市町村)の被害は、死者3,住家全壊217,半壊1327などで、実数では関東震災をかなり上回り、被害率ではほぼ同じ程度でした(図10). 龍ヶ崎市では死者1,全

で被害は極めてわずかであり,龍ヶ崎で墓石倒れ田畑・道路に亀裂,と記されている程度でした.

壊1,半壊42,全壊率0.003%と,周辺市町村に比べ一段と小さい規模の被害でした.. 県南平均の住家全壊率は0.06%で,震度5強~5弱相当でした.被害は利根川低地域で大きく,稲敷市では震度6弱に近い大きさでした.これらはかなり広い市域の平均であり,軟弱地盤域では局地的にもっと大きな震度になったはずです.なお,最近では小地区ごとの被害データは示されず,かつてに比べ格段に広くなった市域全体のデータしか得られないので,被害と地盤条件との対応が不明瞭になっています.

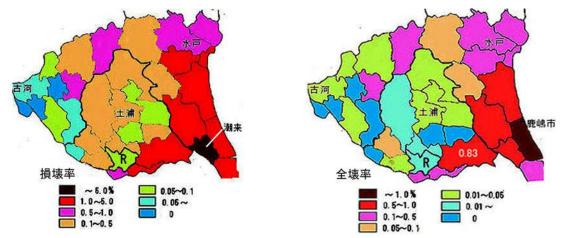


図10 東日本大震災による住家全壊率および損壊率(半壊の1/2を加算) R:龍ヶ崎市

大吠埼東南東 110km で起こった 1677 年延宝地震(M8.0~8.3) は津波地震と呼ばれるタイプで、茨城・福島沿岸に 5~10m の大きな津波が押し寄せ、大きな被害が発生しましたが、陸上での震動による被害はわずかでした。2011 年東北地方太平洋沖地震もやや津波地震的であったようです。明治三陸地震(M8.5, 死者 2.2 万人) は完全に津波地震で、陸上での最大震度は 4 でした。海溝型巨大地震は、断層ずれが比較的ゆっくりと進行して、陸地での震動は小さくなる可能性があります。

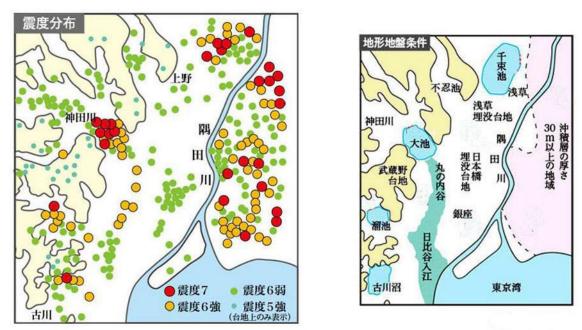


図11 関東大震災による東京の全壊率(震度)と地形・地盤条件

# 4. 地盤条件と震度・被害

地震災害は地盤災害といえるもので、局地的な地盤条件は地震の揺れの程度を決める大きな要因で

す. 地区防災の基礎は地形・地盤条件の把握です.

関東大震災のときの東京では,地形・地盤による被害の違いが非常に明瞭でした(図 11). 住家全 壊率から推定される震度は、武蔵野台地(稲敷台地と同じローム台地)で5強程度、沖積層の厚い荒 川低地中央部では6強~7,沖積層の薄い埋没段丘部(日本橋・銀座など)では6弱程度,表層が極 めて軟弱な台地内谷底(神田川など)の旧沼沢地では6強~7でした. 地震動が大きく増幅される地 盤は、沖積層の厚い(およそ 30m 以上の)ところおよび表層が非常に軟弱なところ(泥炭地など) です.これらは最も悪い第3種地盤に分類され,建物・構造物の耐震強度を高めるように定められて います.

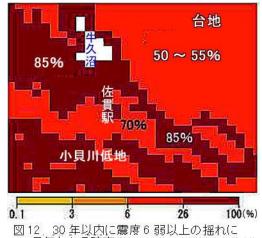
小貝川低地のほぼ中央部の地下には深い埋没谷があり、軟弱な泥質の沖積層の厚さは 45m を超え ます (図 1). 佐貫駅西方でも 40m ほどあります. 関東鉄道龍ヶ崎線付近から台地際までの間には地 下に埋没段丘(台地の延長部)があり沖積層は薄くなっています. 龍ヶ崎市の震度計はここに設置さ れていて、やや小さな揺れを記録しています。龍ヶ崎中心市街は埋没段丘の境界付近にあります。台 地際には表層が有機質土 (泥炭など) である非常に軟弱な地層が分布します. 牛久沼周辺にも厚い泥 炭層があります. 台地内の谷底(谷津)の表層には軟弱な泥質層が分布します.

江川沿いなどにある自然堤防の表層は主として砂で構成されおり, N 値は小さくて締りのゆるい地 層です、自然堤防以外の低地部は後背低地と呼ばれ一般に泥質ですが、ここにも砂層はかなり分布し ます.これらの砂層は液状化を起こす可能性のある地層です.2011年の地震では,液状化による噴水・ 噴砂の発生が龍ヶ崎南部の低地で 40 箇所ほど認められています. 液状化の発生は, 締まりが緩く地

下水で満たされている砂層に限られ、台地上では起こり

政府機関(地震調査研究推進本部)による地震動予測 では、今後30年以内に震度6弱以上の揺れに見舞われ る確率が、稲敷台地南部で50~55%、沖積層の厚い小貝 川低地では 85%程度, 江川沿いなどの自然堤防部では 70%程度であり、地形・地盤によりこのような差が示さ れています. なお, 南関東における M7 クラス地震の実 質的な発生頻度が大き目にとられていることがこの 30 年確率をかなり高くしていると考えられます.

地震の揺れ(震度)および被害の地形による違いを大 まかに示すと、小貝川低地中央にある沖積層厚 30m 以上 の地域に比べ、台地際の埋没段丘部では震度は 0.5 程度



見舞われる確率(地震調査研究推進本部資料)

小(住家全壊率は数分の1), 稲敷台地面では震度で1程度小(全壊率は10分の1以下)となります. 表層に軟弱地層のある台地内谷底では震度は局地的にかなり大きくなります.急傾斜の崖をつくって 低地・谷底に面している台地端では、側面からの押さえがないので、地震の揺れの幅が大きくなる可 能性があります.

### 5. 地震災害リスクと対応策

過去約 1 千年間の地震災害において,この地区に最大の揺れを引き起こしたのは東日本大震災 (M9.0 は世界の観測史上第5位) であり,筑波・稲敷台地における震度(計測震度) は震度6弱(の 下限近く)~5 強,住家全壊率(龍ヶ崎など 5 市町の平均)0.012%でした.

今後大きな揺れをもたらすおそれのある地震には、1677 年に延宝地震(M8.0~8.3, 茨城南部の被害なし)が起った日本海溝南端域における海溝型地震があります。そこに現在ある地震空白域(図 8)の広さから、規模は1677 年を上回ることはなく、最大で 8.2 程度と考えられます。震源距離は200kmほどあるので、津波地震的ではなくて断層破壊が急速であったとしても、稲敷台地南部における震度は5強ほどでしょう。なお、房総東方沖では断層がゆっくりとずれ動くスロースリップが起っていて地殻歪がかなり解消されているといわれています。これが正しければ、地震の規模はより小さくなり、また、発生間隔は長くなると考えられます。

茨城南部直下が震源でその深さが 50km よりも浅くて M が 7.0 を超えるという直下地震の場合でも、 プレートの位置・地震発生頻度・既往直下地震被害などから判断して、稲敷台地南部における震度は 6 弱以下でしょう.

これにどれほどの安全率を積み増して対応するかは、各個人・組織の立場などに基づく選択・選好の問題、科学ではなく政策的判断の問題です.

地震による火災は非常に恐れられている災害です. 地震火災のほとんどは建物倒壊によって生じ,その出 火率は全壊率の 1/100 以下です(図 13). 震度 6 弱の 場合の全壊率を 0.1%とかなり大きめにとっても,北 竜台地区における住家全壊は 10 棟程度,火災はほぼ 無しとなります.ニュータウンということで建築年代 が新しいので(1981 年建築基準法改正以後),住家損 壊被害はさらに小さくなると考えられます.

したがってニュータウン地区では偶発的に起る火 災だけに対応すればよいと判断されます. 延焼火災な どによる大量避難を想定し備える必要は生じません. 東京下町のような道路が狭く木造建物が密集する地

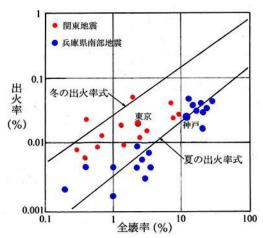


図13 住家全壊率と出火率との関係

区に比べれば、延焼危険度は極めて小です。直下地震の場合には被災域は狭いので、すぐに周辺地域 からの援助がやってきます。山間地とは異なり、道路途絶・落橋などによる地区完全孤立といった事 態は起こりません。

人の死傷の大部分は建物倒壊および家具等の転倒・落下・飛散によって生じます。身の回りの危険

を取り除いておいて,震動時における人身の安全 を図ることは,災害後のサバイバル対策よりも優 先します.家具等の固定は比較的容易に実行でき る,必要で有効な対策です.木造住宅の耐震性は, 耐震壁を多くバランスよく配置することで大き く高められます.災害後のサバイバルでは,飲料 水ついで生活用水(トイレ用など)の確保が最優 先事項になります.

地域の災害危険性に基づいて正しく恐れることが,地区防災対応の基本です. さらに積み増し



図14 木造住宅の耐震性強化

で安全水準をどこまで高く設定するか、どこまでのリスクを受け入れるかは、各個人・組織などの自由意志による選択の問題です.