

地下水制御による地震災害リスク低減効果の 経済的評価

「地下水制御が地盤環境に及ぼす影響評価に関する調査研究委員会」
土木学会関西支部

地下水制御による液状化危険度の低減に伴う地震災害リスクについて、大阪市域を対象に経済的視点から評価した。民力をもとにした被害額推定の結果、現水位における直接被害総額は、直下型地震の場合で9.6兆円、海洋型地震の場合でその約30%の2.5兆円であるのに対し、地下水制御を行うことで、直接被害総額は地下水位低下量に対応して順次減少し、3mの水位低下では、直下型地震で約6.7兆円、海洋型地震では約2.4兆円となることが明らかとなった。すなわち、直下型で約2.9兆円、海洋型で約1,000億円の被害低減効果が期待でき、直下型地震および海洋型地震による地震災害リスク軽減対策の一手法としての地下水制御の有意性を示した。

Key Words : *liquefaction, groundwater-operation, economical-damage estimation, seismic risk analysis*

1. はじめに

我国では、昭和20年代後半から30年代の高度成長期に沖積平野部において、地下水汲み上げが原因となる地盤沈下が大きな問題としてクローズアップされた。その後、昭和37年に地下水汲み上げ規制が施行されて地盤沈下は収束したが、その反面、地下水位の回復段階で施工された地中構造物の維持や地下掘削工事の施工が高水位化した地下水により著しく困難なものになってきた。

平成7年1月の阪神大震災では、高度に近代化した都市域で大地震が発生した場合、いかに多くの人命や都市機能が喪失するかを見せつけられた。この地震の特徴の一つに沿岸部や人工地盤域を中心に多くの液状化被害が発生したことが挙げられる。一方、同地震による被害を最小限に免れることができた西日本の経済的中心地である大阪地区は、神戸以上に広い沖積平野と人工地盤を抱えており、有馬—高槻構造線、中央構造線、上町断層、生駒断層などの活動による内陸性の直下型地震や、近い将来に予想されている東南海・南海地震などが発生すると、市内全域で液状化を含む烈しい被害が発生することが想定されている。

液状化の発生は地震動の大きさおよび継続時間、地盤特性、地下水位等が大きな要因になるが、これらの要因のうち地下水位については、人為的に制御することが可能である。具体的には、現在、規制されている地下水汲み上げを限定的に緩和し、適正な地下水位を保ち、来るべき大地震による液状化被害の軽減化を計ることは現状

の技術で十分に対応可能と考えられる。

大阪市域の地震防災を考えるとき、先に述べた4条の活断層活動による直下型地震と海洋型の南海地震を対象とした検討が重要である。南海地震は東南海地震と相前後してほぼ100年周期で、一定の領域のプレート境界上で発生している。図-1は安政（1854年）および昭和（1946年）に発生した南海地震の震度分布図¹⁾である。これらの図は宇佐美²⁾によるもので、安政の震度分布図は被害に関する膨大な史資料の解析結果を一部簡略化して示されたものである。それぞれの地震を比較すると、大局的には絶対値が異なっているものの同じようなゾーニングになっている。しかし、局所的に見ると大阪地域は2回の地震で異なった挙動を示している。2回の地震の震央はほとんど変わらないが、昭和の地震の場合、大阪で震度IV、和歌山で震度Vとなっており大阪は和歌山より震度が小さくなっているのに対し、安政の地震では、大阪で震度VI、和歌山で震度Vと震度が逆転していることがわかる。安政の地震では、播磨灘および大阪湾周辺一体は周辺と比較し、特異な震度を示す「異常震域」となっているが、このうち播磨灘周辺は昭和の地震でも異常震域となっており、地盤条件の変化を反映したものと考えられる。大阪地区が安政の地震で異常震域となっていることは、大阪が和歌山などに比べて大きな被害を生じたことを意味しているが、液状化が被害拡大の一因であったことも考えられる。

この2回の地震に対する大阪地域の地盤挙動の違いについて中川³⁾は、地下水位の違いを原因として挙げる

ことができると指摘している。すなわち、安政の地震では地下水面は自然水位である地表面近くにあったはずで、表層を構成しているいわゆる沖積層の砂質部が液状化しやすい状態にあったと考えている。一方、昭和の地震では地下水位の低下は終戦時にはかなり回復したとはいえ、当時の地下水面が自然水位よりかなり低い状態にあったと考えられ、これが幸いして液状化被害を軽減できた可能性があるとしている。図-2に大阪市域の地下水位変動図を示す。

以上のことは、地下水面を低い状態に制御することにより液状化の発生を抑制し、液状化被害を最小限にできる可能性を示唆していると考えられる。本報告は、地下水制御による液状化被害軽減効果の経済的評価を試みたものであり、平成12・13年度の2年間にわたる土木学会関西支部の「地下水制御が地盤環境に及ぼす影響評価に関する調査研究委員会」の活動から「社会的影響評価部会」の研究成果を報告するものである。

2. 大阪市域の地震時液状化評価

(1) 地震時液状化予測手法

ここでは、対象地域は大阪市域として、淀川区をはじめ全24区ごとの地震時液状化の発生エリア面積を求める手法について説明する。

まず、大阪市域を250m×250mのメッシュに分割し、各メッシュ格子点の地盤データ、地下水位を入力する。なお、地盤データは、関西地盤調査情報データベース（関西地盤情報活用協議会）を適用した。また、地下水位は沖積層に賦存する地下水を対象とし、現況地下水位

は、「地下水情報に関する報告書」³⁾（地下水地盤環境に関する研究協議会）のデータを用いて、各観測井水位を計算メッシュに平均化して入力する。

液状化予測の判定式には、いくつかの提案式があるが、本研究では、液状化被害は建築構造物が主体になると考えられるため「建築基礎構造物設計指針」（日本建築学会）⁴⁾に示されている時松・吉見の式⁵⁾を適用する。また、液状化の判定基準は、液状化指数 P_L 値を用いる。 P_L 値は、液状化判定による各深度の安全率の変化から、その地点における地盤の液状化の激しさを示す指標である⁶⁾。ここでは、 P_L 値が5以上となると、液状化が発生するとされている^{7),8)}ことから、液状化に至る限界の地表

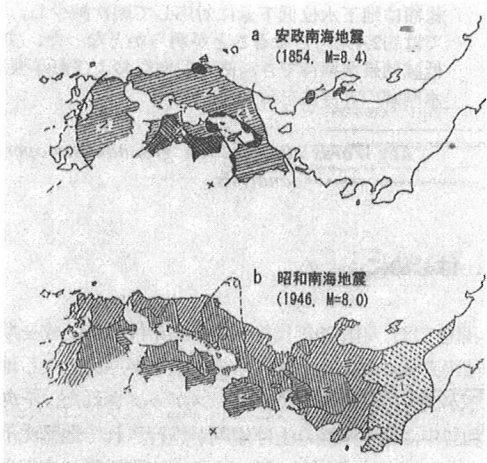


図-1 安政（1854 年）および昭和（1946 年）に起きた南海地震の震度分布図¹⁾

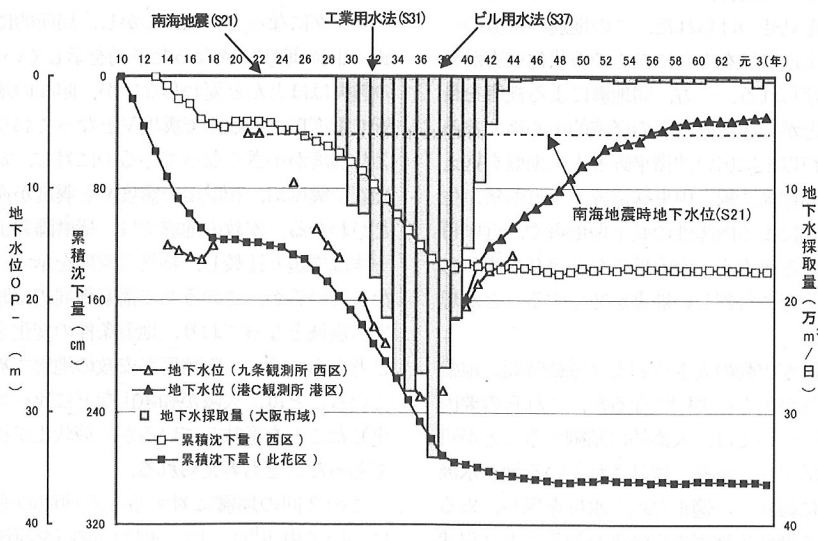


図-2 大阪市域の地下水位変動図

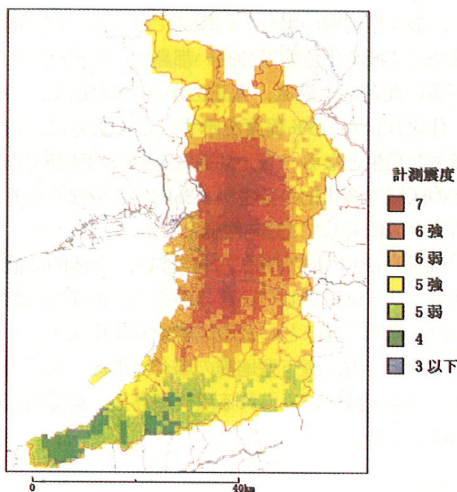


図-3 地震動予測図
(直下型地震：大阪府地震被害予測図)⁹⁾

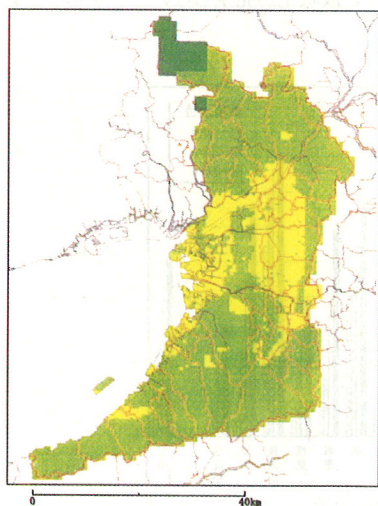


図-4 地震動予測図
(海洋型地震：大阪府地震被害予測図)⁹⁾

面最大加速度(限界gal値)を P_L 値=5を閾値として算定し、限界gal値の平面的な分布を求める。

地震動は、内陸直下型として上町断層系の地震を、海洋型として南海トラフで発生する地震を想定する。大阪府域を含む平野部には仏念寺山断層、上町断層、長居断層と南北に一直に連続しており、これらを合わせて上町断層系と呼んでいる。上町断層は確実度I、活動度Bの活断層であり、これが活動した場合は大阪府域に大きな



図-5 地震動算定地点と加速度分布および各区の代表値

影響を及ぼす可能性がある。ただし、活動歴は不明であり、次の活動時期を知るには、今後、最終活動時期や活動周期の詳細な調査を進めることが重要である。一方、南海トラフで発生する地震は過去の履歴ではマグニチュード8クラスの地震が約100年～150年間隔で繰り返し発生しており、最近では1946年に南海地震が発生している。この地震が発生すると直接的な地震災害の他に、大阪湾には津波が来襲する可能性が大きい。大阪府地震被害想定調査⁹⁾によれば、上町断層系の直下型地震では震度6弱～6強(図-3)、海洋型の南海地震では5強と示されている(図-4)。

(2) 地表面加速度の設定

大阪市土木・建築構造物震災対技術検討会によって求められた大阪市標準想定地震動は上町断層系の活動を想定した地震動であり、大阪府域の地盤特性や表層地盤の増幅特性および地震記録に基づいた地震動の解析により設定されたものであり、大阪府域の38地点において、局所的な地盤特性を考慮した地震動が算定されている¹¹⁾。この地表面加速度を外挿し、各区の中心における地表面加速度を求め、代表値とする。図-5に地震動の算定地点と加速度分布ならびに各区の代表値を示す。液状化の判定は、この地表面加速度と限界gal値に対比により行う。

計測震度と地表面加速度の関係は厳密に対応することはできないが概ね表-1に示す関係にある。図-4に示されるとおり大阪府域の計測震度が5弱から5強であることから、海洋型地震における地表面加速度を一律に250galとした。

表-1 震度階級と最大加速度の関係¹⁰⁾

震度階級	最大加速度(gal)
震度4	40～110程度
震度5弱	110～240程度
震度5強	240～520程度
震度6弱	520～830程度
震度6強	830～1,500程度
震度7	1,500程度～

(3) 地下水制御による各区の液状化発生予測

地震時の液状化発生予測は設定した地表面加速度と液状化指数 (P_L 値=5) を閾値とした限界 gal 値 (地下水位を現水位, -1m, -2m, -3m で設定) の関係より判定した。

図-6, 7 は現水位および地下水制御による地下水位低下を考慮した直下型および海洋型地震による各区の液状化発生エリアの結果を示したものである。また、図-8 は平面分布図に示したものである。直下型地震の場合、現水位では、淀川河口部の福島区、西区、丘陵部の阿倍野区、住吉区を除いて概ね区域内では 30～90% のエリアを占め、概ね市内全域で 51% 程度となる。

一方、海洋型地震の場合、内陸部では旧大和川と淀川の合流地点で液状化危険度の高い都島区、沿岸域で人工地盤が多い此花区、港区、大正区が 40% を超え、西淀川区、住之江区が 25% 程度を示す。このように、沿岸部で顕著な発生となる一方、都島区を除く内陸部ではほとんどの区域で液状化の発生が 5% 内外と少なくなり、概ね市内全域に対して 13.6% 程度となる。

地下水制御 (地下水位の低下) に伴い、全体的に液状化の発生エリアは減少しているのが判る。海洋型においては 3m の水位低下でほとんどの区域で液状化発生エリアはなくなる。一方、直下型地震の場合は港区、西淀川区、淀川区で大幅な減少がみられる反面都島区、東淀川区の減少率は小さい。

(4) まとめ

地下水位を制御することにより液状化発生エリアをかなり抑制することが可能であることが判った。特に、海洋型地震については、3m 程度の水位低下を行うことでほとんど液状化が発生しないことを示している。

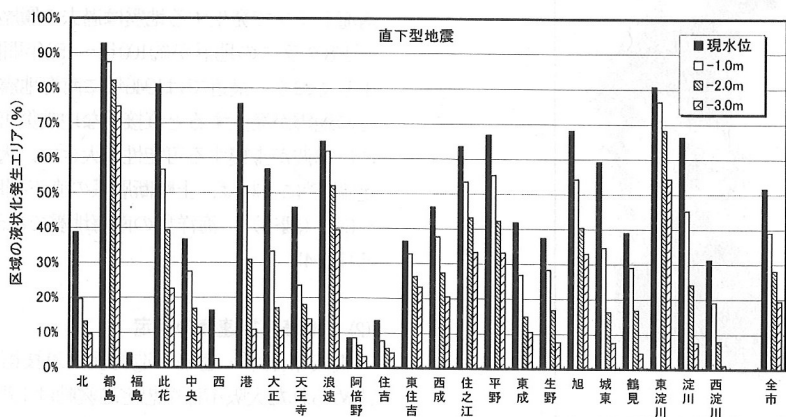


図-6 直下型地震による各区の液状化発生エリア

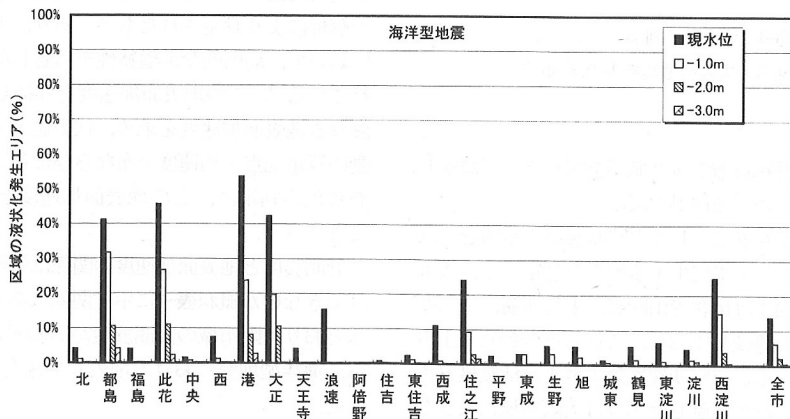
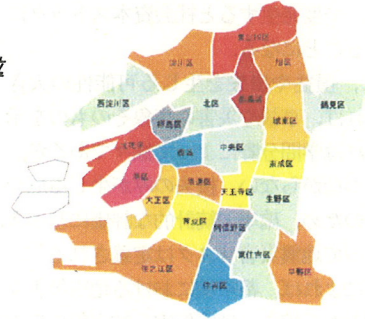
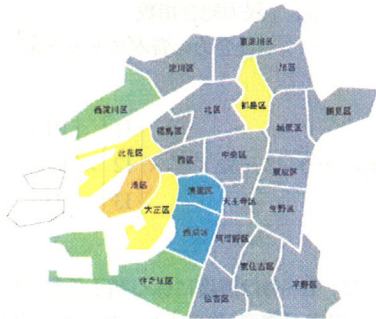


図-7 海洋型地震による各区の液状化発生エリア

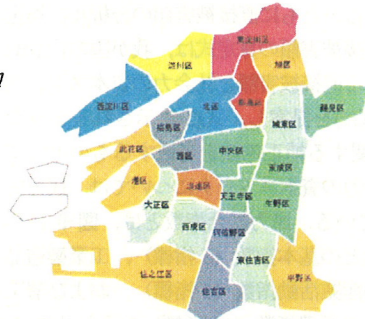
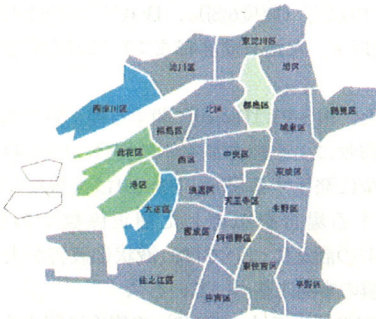
海洋型地震

直下型地震

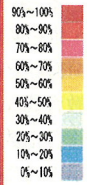
現水位



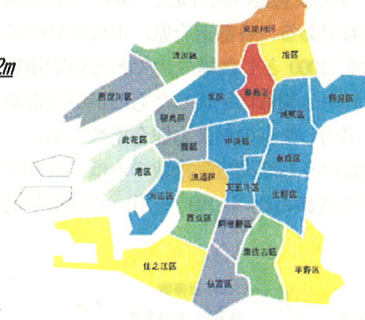
-1m



凡例



-2m



-3m

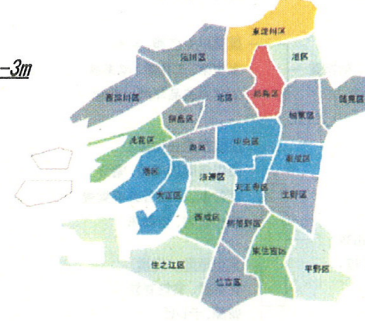


図-8 地下水制御による液状化発生エリア平面分布図

3. 地下水制御による液状化災害リスク評価

(1) 地震災害リスク評価手法

地震災害は、100年に一度といった極めてまれな事象である。ところが、一度発生すると社会資本ストックに大きな損失を与えることになる。

リスクは一般に、損益や損失を生じる可能性の大きさを言う場合もあれば、事故や災害の事象そのものを示す場合もある。これは学問分野によって様々であるが、地震は、利益にはつながらない、損失のみが生じる厄介な災害である。このため、確率・統計的な評価に基づき、損失の期待値をもって地震災害リスクは定義される¹²⁾。

谷口・鐘ヶ江¹³⁾によれば、都市域における地震災害リスクを経済的な側面から捉え、地震災害を被害額の観点から調査・分析するとともに直接被害額の分析及び推定を行っている。直接被害額の算定式は、我が国の代表的な地震災害における直接被害額と社会力の資本ストック量の関係から、式(1)を提案し、式(2)に示されるような震度とHazardに関する補正係数を考慮するものとしている。なお、社会力の資本ストックについては、民力総合指数¹⁴⁾を用いている。民力総合指数とは、図-9に示す人口・世帯数などの基本指数(6指標)、工業製造品年間出荷額などの産業活動指数(6指標)、および着工住宅・教育費などの消費指数(12指標)の合わせて24指標の総合指数からなる全国の絶対量を1000とした構成比で示された指数である。各都道府県、市町村等の各指標について全国を1000とした構成比である個別指数をもとめ、それぞれ中分類毎に平均したものが中分類指数、さらにこれを平均したものが民力総合指数である。ただし、中分類指数のうち産業活動指数のみは一次産業、二次産業の国内総生産額の比(1:19)を用いて加重平均する。

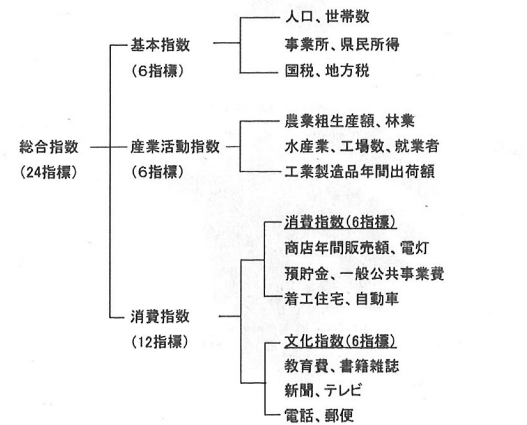


図-9 民力総合指数構成図¹⁴⁾

$$Y_p = 0.0347 \times Se^{1.3119} \tag{1}$$

ここに、 Y_p : 直接被害額

Se : 民力総合指数
(社会力の資本ストック量)

$$Y_p = 0.0347 \times Se^{1.3119} \times \begin{bmatrix} I1 \\ I2 \\ I3 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} P1 \\ P2 \\ P3 \end{bmatrix} \tag{2}$$

ここに、 $I1 \sim I3$ は震度に係る補正係数で、 $I1=2.47$ は震度6の中以上(震度6強以上)、 $I2=1.00$ は震度5の中～震度6の中以下(震度6弱)、 $I3=0.51$ は震度5の中以下(震度5強以下、ただし震度4.5まで)に対応する補正係数である。

また、 $P1 \sim P3$ はHazardに関する補正值であり、 $P1=1.00$ は地震動による被害が主体の場合、 $P2=2.47$ は液状化が大規模に発生する場合、 $P3=4.51$ は大規模な斜面崩壊が発生する場合を想定した補正係数である。なお、 $P2=2.47$ の設定については、液状化被害が大きかった新潟地震の事例に基づいている¹⁵⁾。

今回の解析では、式(2)の震度に関する補正係数については、前述の図-3、4の地震動予測より大阪市域における直下型地震では、震度6弱～6強、海洋型地震では5強となることから、直下型地震では $I1=2.47$ を、海洋型地震では $I2=1.00$ を採用する。

また、式(2)のHazardに関する補正係数については、液状化が大規模に発生した場合に $P2=2.47$ とされている。面積比率70～80%以上は大規模な液状化と考えられ、 $P2$ は、面積比率80%程度から2.47に近づく。一方、面積比率が小さい場合、液状化の程度も小さく被害が軽微であると考えられる。これらより、液状化面積比率とHazard

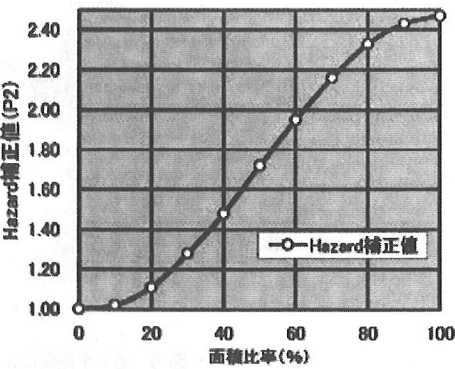


図-10 液状化面積比率とHazard補正值の関係

表-2 大阪市域24区の民力総合指数¹⁰⁾

番号	区	民力総合指数 (1000分比)	一人当り民力水準 (全国=100)	総面積 2000年(km ²)
1	北	2.414	357.4	10.3
2	都島	0.752	101.2	6.1
3	福島	0.53	123	4.7
4	此花	0.488	93.7	15.5
5	中央	3.708	872.5	8.9
6	西	0.731	153.9	5.2
7	港	0.627	90.6	7.9
8	大正	0.545	91.4	9.2
9	天王寺	0.568	134.3	4.8
10	浪速	0.533	149.3	4.4
11	阿倍野	0.956	120.4	6
12	住吉	1.097	88.3	9.3
13	東住吉	0.995	91.7	9.8
14	西成	0.922	94.2	7.4
15	住之江	0.928	87.4	20.8
16	平野	1.381	88.4	15.3
17	東成	0.681	120.7	4.6
18	生野	0.902	103.8	8.4
19	旭	0.709	91.2	6.3
20	城東	1.091	89.5	8.4
21	鶴見	0.681	86.2	8.2
22	東淀川	1.223	89.3	13.3
23	淀川	1.343	109.4	12.6
24	西淀川	0.725	100.7	14.2
	計	24.53	3528.5	221.6

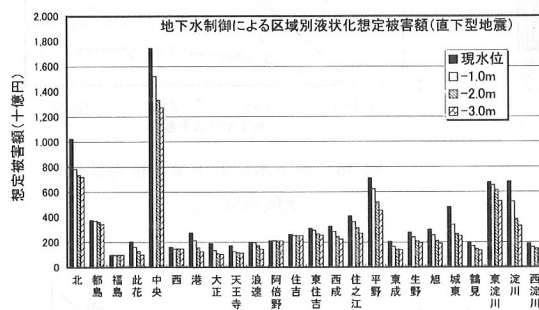


図-11 直下型地震による区域別想定被害額

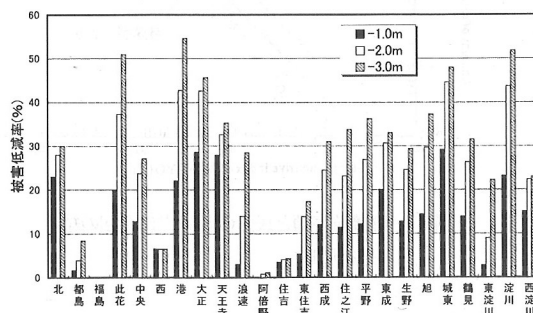


図-12 地下水位低下量と被害低減率(直下型地震)

補正値の関係を図-10に示すように仮定した。この関係と各区ごとに算定した液状化面積比率より、各区のHazard補正値を求めることとした。

(2) 大阪市域24区の民力総合指数

大阪24区の社会力は民力総合指数を用いて評価した。

表-2に大阪市域24区の民力総合指数を示す。

(3) 地下水制御による直接被害額の算定

式(2)に従って、直接被害額の算定を行なう。なお、被害額算定式(2)は、地震災害における被害額を1994年のGDP(国内総生産)491兆円に換算したものである。ここでは、2001年のGDP503兆円を用いて1.03の係数を用いた。すなわち、補正係数=2001年/1994年=503兆円/491兆円=1.03とした。

また、式(1)は指数関数で表されるため、各区ごとの総和と市域全体の被害額は一致しない。式(1)に従って大阪市全域の民力(24.53)から直接被害額を求めると $Y_p=2.309$ 兆円、一方、24区各区の民力で求めた直接被害額は $\Sigma Y_p=0.920$ 兆円となる。そこで、補正係数=2.309兆円/0.920兆円=2.51として、各区の民力から計算された被害額に補正係数2.51をかけることにした。

図-11, 12は、直下型地震時の地下水制御による区域別想定被害額と地下水位低下量による被害低減率の変化を示すものである。直下型地震の場合、被害額は都市機能集積区域の中央区、北区で被害額が大きい。各区とも被害額は地下水位の低下とともに順次軽減するが、被害額の低減率は沿岸部で此花区、港区、大正区、内陸部で淀川沿いの城東区、淀川区で大きく、これらの区域での被害低減効果が大きいことがわかる。

一方、海洋型地震の場合、図-13に示すとおり、直下型地震の場合と同様に中央区、北区で被害額が大きいと予想されるが、図-14に示されるように地下水制御による被害低減効果は沿岸部の此花区、港区、大正区、住之江区、西淀川区と内陸部の都島区に限定される。これは、図-8の海洋型地震の液状化発生エリア分布図に示すように主として沿岸部と都島区に液状化が発生するためであり、都島区を除く内陸部では、地震動による被害が主体となり、地下水制御による被害額の軽減効果が得られないことを示している。

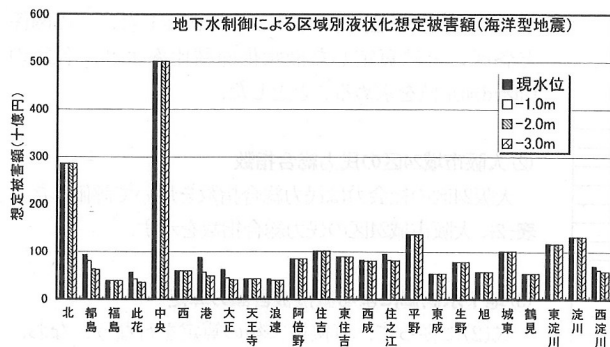


図-13 海洋型地震による区域別想定被害額

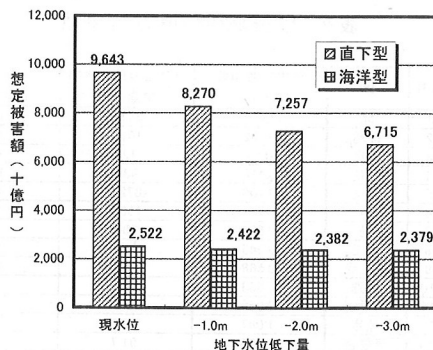


図-15 大阪市域地震時想定被害額

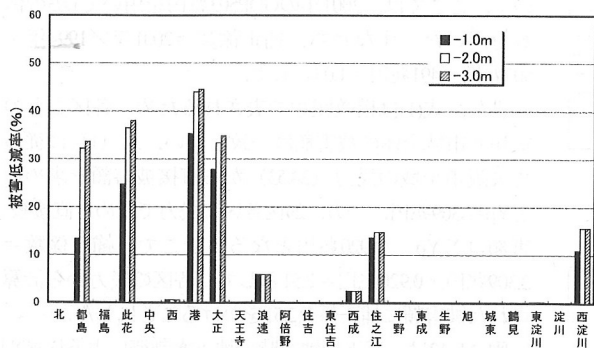


図-14 地下水位低下量と被害低減率 (海洋型地震)

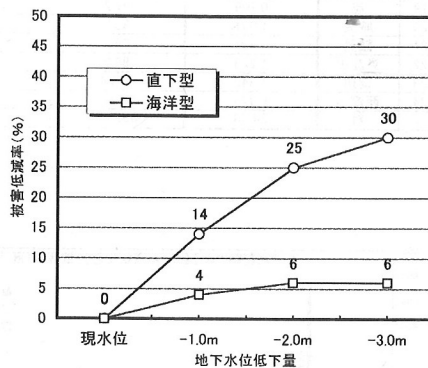


図-16 地下水位低下量と被害低減率 (大阪市域)

図-15は図-11, 13の結果を集計した大阪市域地震時被害想定額である。現水位において直下型で約9.6兆円、海洋型で約2.5兆円という結果が得られた。地下水制御を行なうことにより想定被害額は順次減少し、3mの水位低下で直下型で約6.7兆円 (▲2.9兆円)、海洋型で2.4兆円 (▲0.1兆円) となった。

図-16は大阪市域の地下水位低下量と被害低減率の変化を示すものである。直下型、海洋型ともに地下水位低下と共に被害低減効果は大きくなるが、海洋型では2m以上での低減効果の上昇は見られない。また、直下型地震のほうが被害低減率は大きい。これは、直下型の場合、液状化エリアが市域全体に広がり、低減効果が市域全体に見られるのに対し、海洋型では、低減効果は特定の区域に限定され、全体被害額に対する地下水制御による被害低減額が小さいことを示している。

図-17は谷口・鎌ヶ江¹³⁾により求められた式(2)の直接被害額と民力の関係図に今回の結果を加筆したものである。なお、図中の○印は新潟地震を初め過去の国内における地震被害の事例を示している。

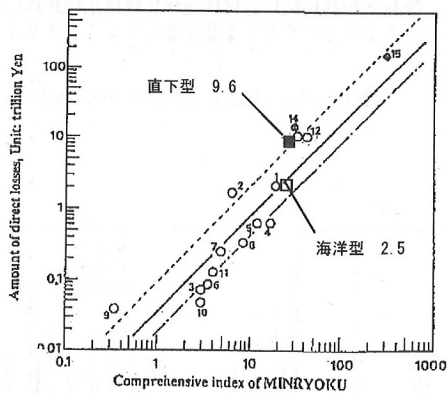


図-17 直接被害額と民力の関係 ¹³⁾に今回の結果を加筆

4. まとめ

民力をもとにした被害想定により、現水位における地震災害被害額は、直下型地震の場合で 9.6 兆円、海洋型地震の場合でその約 30% の 2.5 兆円であるのに対し、地下水制御を行うことで、被害額は地下水位低下量に対応して順次減少し、3 m の水位低下で、直下型地震で約 6.7 兆円、海洋型地震で約 2.4 兆円となると評価した。すなわち、直下型で約 2.9 兆円、海洋型で約 1,000 億円の被害低減効果が期待できる。

直下型地震、海洋型地震の双方に対し地下水制御が地震時直接被害の軽減に有効であり、地下水制御が地震時の直接被害軽減対策の 1 手法として有効であることを示した。

直下型に対しては図-11, 12 より、北区、中央区で被害低減額が大きく、此花区、港区、大正区で被害低減率が大きいことから、これらの区で効果が大きく、海洋型に対しては、図-13, 14 より、都島区、港区、大正区の効果が大きいことがわかる。地下水制御による液状化被害軽減は、直下型地震の場合、都市機能の集積度が高い地域に対して有効であり、海洋型地震の場合、液状化発生エリアの大きい地域に対して有効であると考えられる。

直下型地震を対象として地下水制御を行う場合には、特に効果の高い地域に限定的に用いることにより効果を確実なものとしてできると考えられ、例えば、都市機能の集中する中央区、北区等に適用し、都市の中核機能を守り、災害時においても最低限の都市機能を確保するといった戦略的な運用が必要であると考えられる。

一方、海洋型地震はほぼ一定の周期で発生することが確実視されており、近年の研究では東南海・南海地震の地震動は継続時間が極めて長くなることが予想されている。継続時間の長い地震動では繰り返し応力の影響により地盤強度が低下し、液状化がより発生しやすくなることが指摘されており、液状化エリアは本検討における予測以上に広がる可能性がある。よって地下水制御による地震時直接被害額軽減は、海洋型地震を対象とすることがより現実的かつ効果的であると考えられる。

地下水制御は面的な広がりを持って直接被害の軽減がはかれるため、被害額として大きな部分を占めるにも係わらず、現行法制下では災害復旧時に公的資金の適用が難しい民間資産の被害を軽減することができる。これは兵庫県南部地震の復旧過程で問題となった中心市街地の空洞化を防ぐ効果もあり、間接被害（復旧過程における経済活動への影響）の軽減にも有効であると考えられる。

地下水制御は、液状化被害軽減に有効であることが示されたが、今後、液状化被害の軽減だけでなく揚水した

地下水の有効利用、雨水浸透能の向上、地下構造物に作用する浮力の軽減といった付帯効果や揚水井戸間隔、深度、揚水量等について総合的に検討していくことが必要である。

また、地下水位低下に伴う周辺地盤への影響や環境的な面から見た地下水循環について十分な配慮が必要である。地下水位低下や地下水を地中へ戻すリチャージ工法などを採用する場合は、地下水の流動や水質への影響についても十分配慮し、新たな地下水汚染を発生することがないように慎重な計画が必要である。

地下水制御の考え方については、多くの未解明な点も多い。しかし、地下水位制御に関する個別の技術については、多くの経験を踏まえた成熟した技術が多い。今後、規制緩和を含めた総合的な地下水制御政策というものを提示することにより、一般市民を含めた社会の同意を形成していく必要があろう。

本報告では、地下水制御による地震被害低減効果の経済的評価を試みたが、今回用いた評価手法は地盤改良等、他の液状化対策工法を用いた場合にも適用可能であり、液状化対策工法の費用対効果を評価する手段としての利用も可能であると考ええる。

委員長

岡二三生 京都大学大学院工学研究科
(〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

【社会的影響評価部会委員】

主査

中西典明 復建調査設計株式会社大阪支社
(〒532-0004 大阪市淀川区西宮原 1-4-13)

委員

川下光仁 ジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社
(〒532-0011 大阪市淀川区西中島 5-4-20)

西原在浩 株式会社応用地学研究所技術部
(〒564-0043 吹田市南吹田 1-6-4)

中山健二 川崎地質株式会社西日本支社
(〒556-0015 大阪市浪速区敷津西 2-1-12)

與田敏昭 株式会社ニュージェック河川・海岸部
(〒542-0082 大阪市中央区島之内 1-20-19)

外来委員

谷口仁士 名古屋工業大学システムマネジメント工学科
(〒466-8555 名古屋市中昭和区御器所町)

山本浩司 (財) 地域地盤環境研究所
(〒550-0012 大阪市西区立売堀 4-3-2)

表-3 調査研究委員会委員（平成14年3月現在）

委員長	岡二三生		
委員	水野雅光	高平一哉	沢田充弘
	毛利哲也	小尻利治	大津宏康
	小高猛司	田中泰雄	大島昭彦
	青木一男	長屋淳一	西原在浩
	中西典明	川下光仁	中山健二
	與田敏昭	飯沼 清	高内和宏
	高橋 正	曾我部浩	永田佳充
幹事	植田康宏		
外来委員	谷口仁士	山本浩司	

参考文献

- 1) 中川康一：大阪地盤の液化化－関連した地下水対策，pp.67-75, 1995.
- 2) 宇佐美龍夫：新編日本被害地震総覧，東京大学出版会，pp.434, 1987.
- 3) 地下水地盤環境に関する研究協議会：平成12年度地下水情報に関する報告書，2001.
- 4) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，pp.163-169, 1988.
- 5) 時松孝次，吉見吉昭：Empirical Correlation of Soil Liquefaction Based on SPT N-value and Fines Content，土質工学会論文報告集，Vol.23, No.4, pp.56-74, 1983.
- 6) 岩崎敏男，龍岡文夫，常田賢一，安田進：地震時地盤液化の程度の予測について，土と基礎，Vol.28, No.4, pp.23-29, 1980.
- 7) 大阪府土木部：大阪府土木構造物耐震対策検討委員会報告書，1997.
- 8) 山本浩司，柴田徹，辻江賢治：大阪市の液化化予測，第一回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集，pp.141-144, 1996.
- 9) 大阪府：大阪府地震被害想定調査，pp.8-11, 1997.
- 10) 国土交通省国土技術総合研究所，地震防災研究所ホームページ
<http://www.nilim.go.jp/japanese/database/nwddb/>
- 11) 大阪市土木・建築構造物震災対策技術検討会，pp.24-40, 1997.
- 12) 中村孝明：地震のリスクマネジメントの現状と将来について，土と基礎，No.49-8, pp.1-3, 2001.
- 13) 谷口仁士，鐘ヶ江秀彦：地震災害が地域に及ぼす経済評価，第4回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム（JCROSSAR2000論文集），pp.237-244, 2000.
- 14) 朝日新聞社，民力2001年版，2001.

(2003. 12. 2 受付)

ECONOMIC ESTIMATION OF GROUNDWATER LEVEL OPERATION FOR THE REDUCTION OF EARTHQUAKE RISK

The Investigation and Research Committee on Evaluation of Groundwater-operation Effect on Geo-environment, JSCE Kansai Chapter

This study aims to make a quantitatively evaluation for total amount of direct earthquake damage loss accompanying liquefaction potential change at the Osaka City area in case of inland and plate-boundary earthquakes. The major findings are as follows; 1) The estimated total amount of direct damage loss at current ground water level reached on 9.6 trillion yen for inland earthquake and on 2.5 trillion yen for plate-boundary earthquake, respectively. 2) In case of existing water level dropped down to 3m, the decrease amount of direct damage loss will be 2.9 trillion yen and 100 billion yen, respectively. 3) In future earthquakes, management of ground water level is one of effective measures for mitigating the economical damage loss in mega-cities.