

大地震に対する大都市の防災・減災

居住・活動のための適地の選択

提言(2)解説

浅岡 顕

(日本学術会議連携会員・
名古屋大学名誉教授)

21世紀の日本は9世紀の日本に似ている！？

「過去は未来を解く鍵」 鎌田浩毅(京大)

9世紀

- 864年 富士山の貞観大噴火 ……
この年は阿蘇も噴火
- 869年 貞観(津波)地震 …… 2011年
- 878年 相模武蔵地震 …… 2020年
(関東中央、直下型)
- 887年 仁和地震 …… 2029年
(東海・東南海・南海連動)
M9クラス

21世紀

- 富士山はまだない！
- 東北地方太平洋沖地震
御嶽、阿蘇が噴火
- 首都直下地震
(オリンピックの年)
- 南海トラフ地震
(30年代説は根強い)
M9クラス

このあと火山噴火もあった。
(鳥海山、十和田湖 etc)

御嶽、阿蘇の次は富士山？

南海トラフ地震

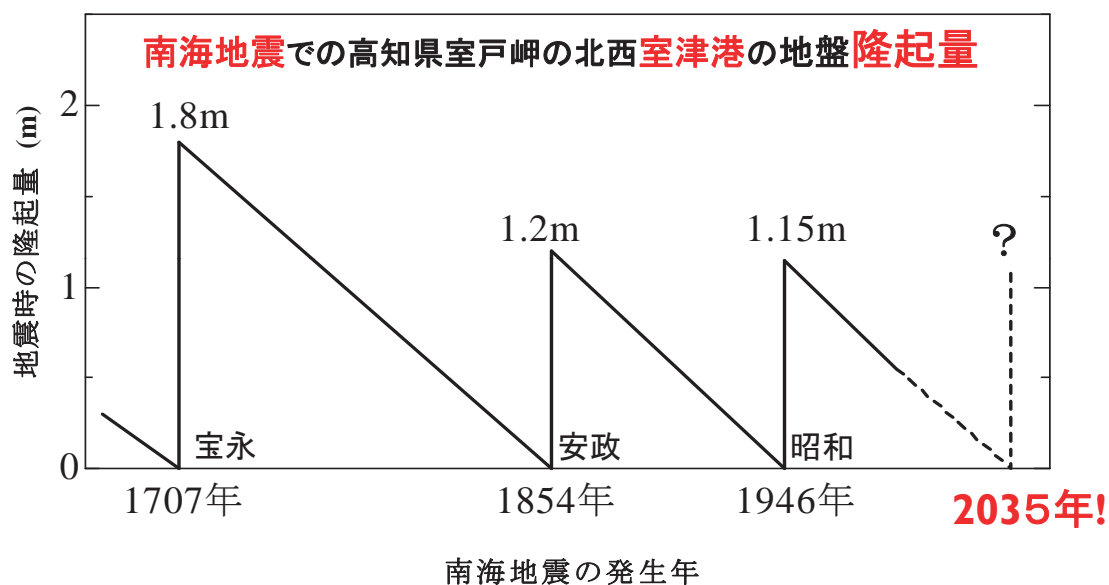
内閣府2012年の「想定モデル」では
東海、東南海、南海の3つの震源域が一つの地震で
一気に破壊するような、つまり

- 887年 仁和地震 (M?)
- 1361年 正平地震 M8.5
- 1707年 宝永地震 M8.6

の次の巨大地震が、今度来る
南海トラフ地震 (M9.1 内閣府、2012年)
ということになっている。

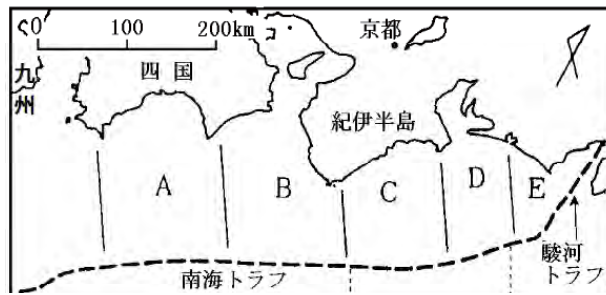
しかしこれは、十分な地震学的な根拠があって
言われているのではない！

いつ来るかについても、
2030年代説は根強いが、



しかし

もちろん「別の説」もあって、たとえば瀬野徹三先生は、



これまでの南海トラフ大地震を

- 1 宝永型・・・東南海・南海地震連動タイプ
(上の図で、少なくともEは壊れていない)、と
 - 2 安政型・・・東海・南海地震連動タイプ
(上の図で、少なくともCは壊れていない)
- の二つにわけて、

「来るべき地震は安政型、M8強程度で、来るのも百年ほどは先でそれほど切迫していない(2012)」 というもの。

(仁和・正平・宝永の3連動説にも否定的)

内閣府2012年想定(M9.1)とはまるで異なる！

ともかく、南海トラフ地震は、

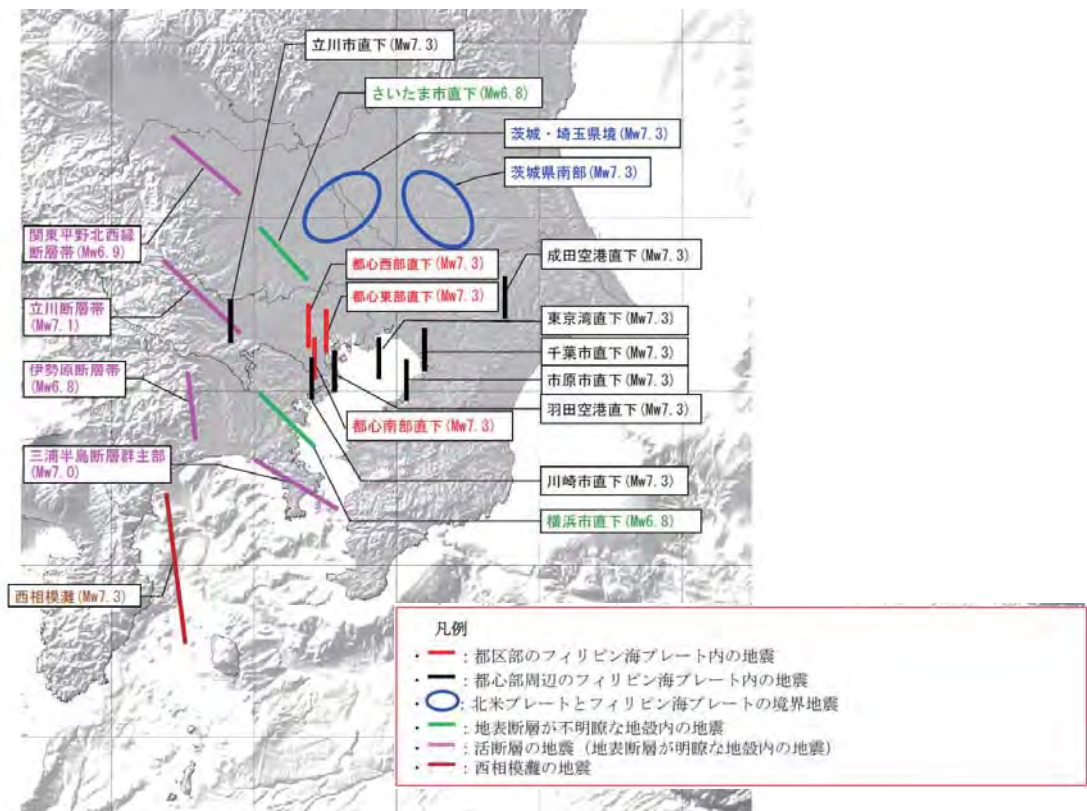


100年～150年周期などと言っても、これまでの巨大地震は **明応型、宝永型、安政型**、それに**慶長型**(小笠原沖合いでの海底地すべりが震源の津波地震)など、一つとして同じものではなく**個性的で多様**、だから次に来る地震の**地震像**など、実はほとんど何も分かっていない。

では活断層などの
直下型地震はどうか？

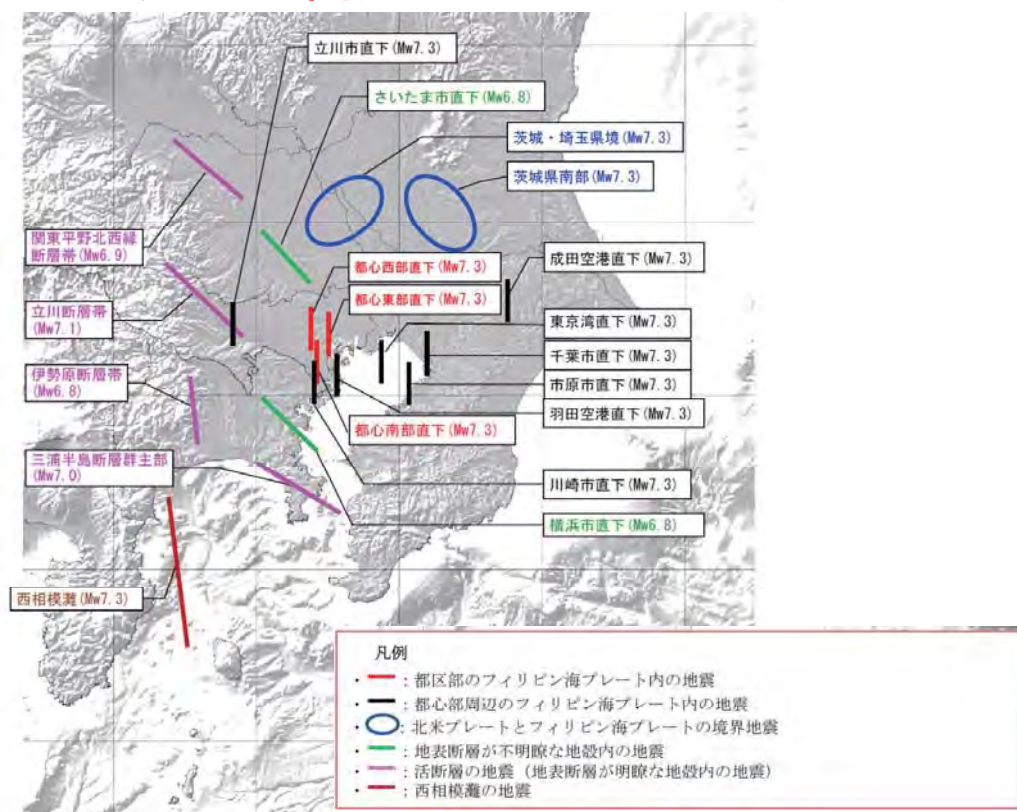
首都直下地震を調べる。

名古屋・大阪はともかく
東京(関東)では、
少しは調べられてきている。



今度来る首都直下地震はM7クラスで、
19個の断層/震源域が想定されている (内閣府 2013年)

しかし19個のうち、**どのひとつが起こるか、**
起こる場所が**大問題**なのに、それは全然わからない！



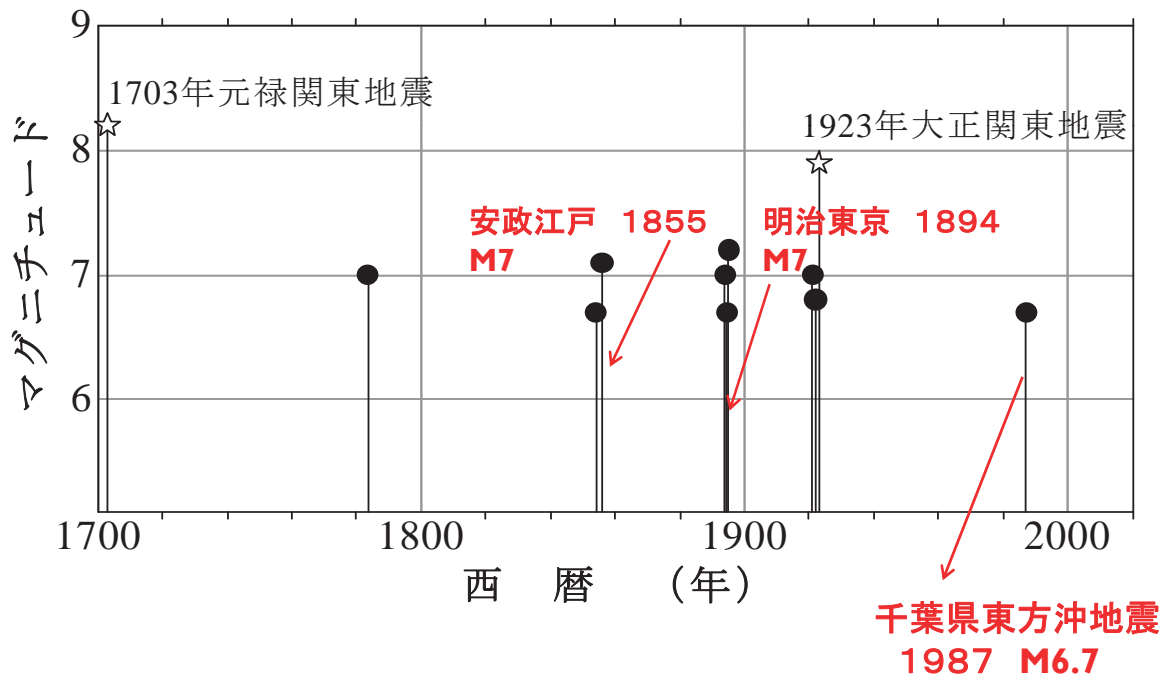
M7クラスの直下型地震！
場所は分からなくても、
いつ来るというのはわかるのか？

これについても、「来るのは確実なのだが、
いつ来るかは分からない！？」

このへんな日本語は、どんな意味か？

今後30年で70%以上？
(ポアソン過程の意味)

首都圏で過去200年に起きたM7クラス地震



M7クラス地震は確実に起こるが、発生間隔はランダム

引用：平田直「首都直下地震」

結局、
「どんな地震かはわからないが、いつか来る！」
という情報しかない！

だから、大都市域の耐震化では、
地震(震源域)特性よりも
サイト特性の理解が一番重要！

大都市域に共通する対地震の脆弱性

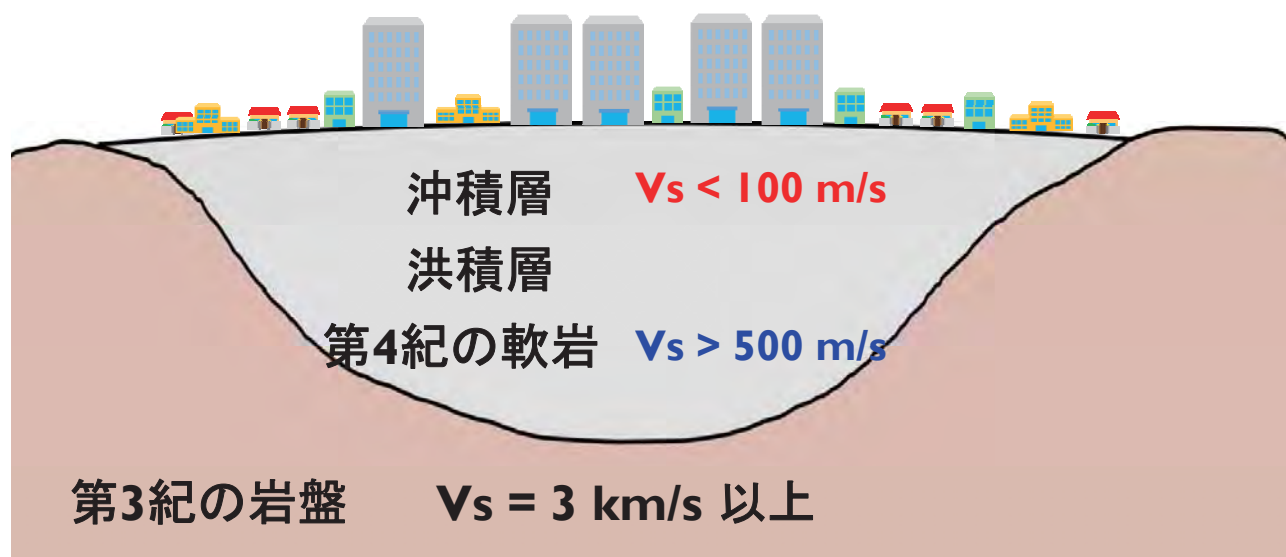
堆積盆地/堆積平野

東京・名古屋・大阪はいずれも、
広大な堆積盆地
に立地している。

東京・名古屋・大阪に限らず
日本の大都市は殆ど例外なく
堆積盆地に立地している。

堆積盆地/堆積平野

堆積盆地のイメージ図



東京・埼玉・千葉・神奈川の一部の**首都直下地震域**は、
約150キロメートル四方程度（平田直「首都直下地震」から）

長周期・長時間地震動が共通して大都市を襲う。

南海トラフ巨大地震は、震源域が広くて、滑り長さもとても長く、そのためもともと

①長周期の揺れが震源から、長時間放出され、それが

②プレート内やトラフ沿いの軟弱付加体など、様々な経路で、遠くまで伝わり、

③堆積盆地の縁で、入射S波が新たに表面波を生成したり、そのあと届く表面波も堆積盆地の縁で変質したりして、

堆積平野の中で長周期の揺れが増幅し、

それが極めて長時間続く。(久田嘉章・福和伸夫ら ほか)

・高層建築物との共振

・石油タンクのスロッシング(新潟1964、日本海中部1983、十勝沖2003)

なども問題になるが、加えて、

長周期・長時間強震動は

地盤の(繰り返し)変位を大きくするから、

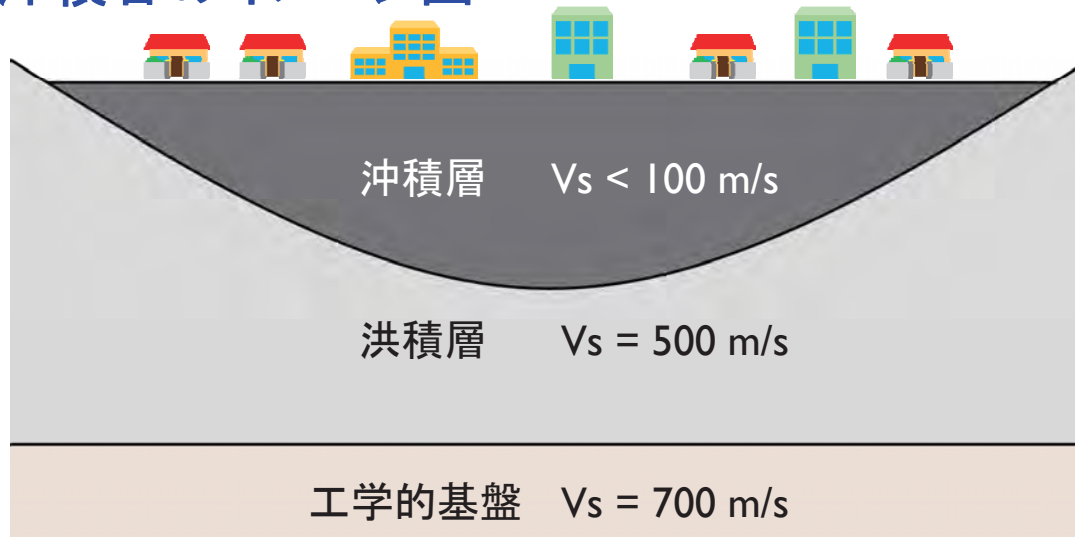
液状化しにくい地盤を液状化させるなど、

表層軟弱地盤にも大きな変状をもたらす。

(浅岡(2013) ほか)

規模の小さな沖積平野や沖積谷でも、
「表面波の発生」など、
堆積盆地と類似な現象がみられる。

沖積谷のイメージ図



浦安市での液状化現象

はその典型

浦安は、震源から500km以上も離れていて、
「工学的基盤」への実体波の**入力地震動は**
50ガル以下と小さかった。

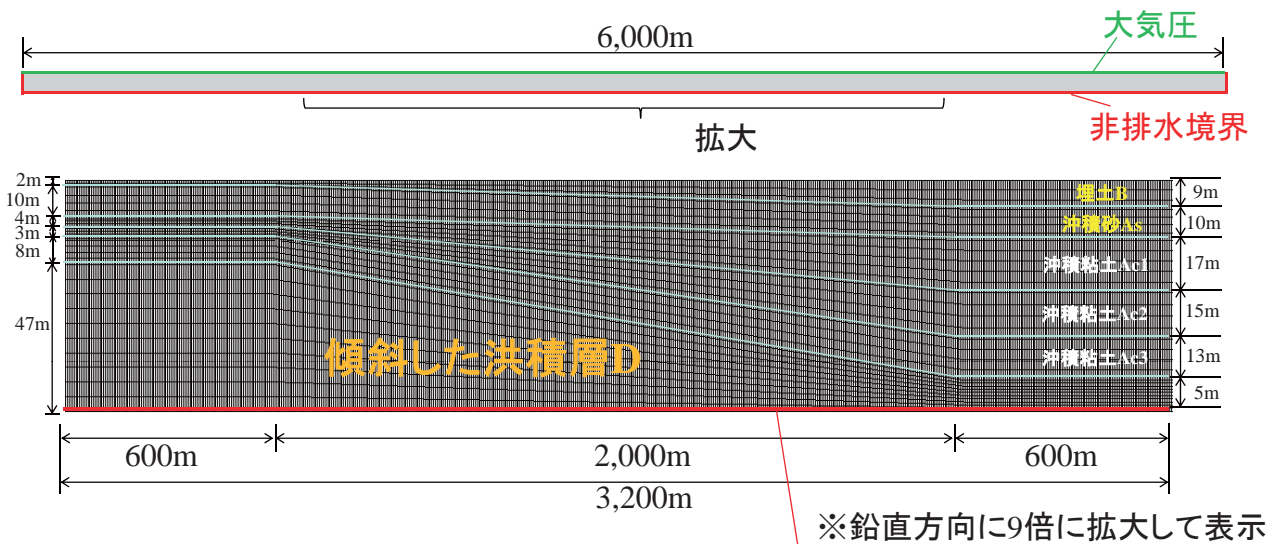
(計測地表最大は150ガルにも届かなかった。)

それでも、細粒分(粘土分)を多く含むドロドロの
ヘドロのような砂までが広範に液状化した!

浦安市の地層断面の簡略化



地層傾斜は僅か3度……浦安地盤の2次元地震応答解析



水理境界

上端は大気圧境界
下端および両側面は非排水境界

地震動

20 下端節点に等しく加速度を入力

粘性境界条件

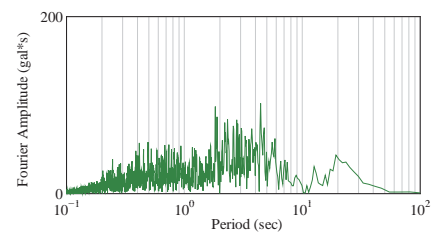
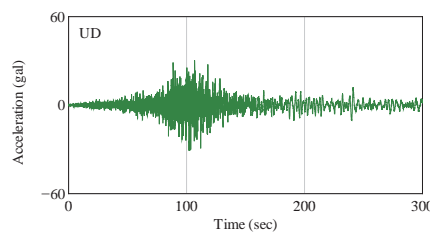
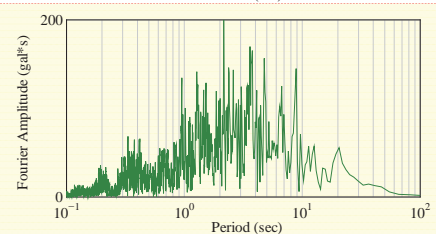
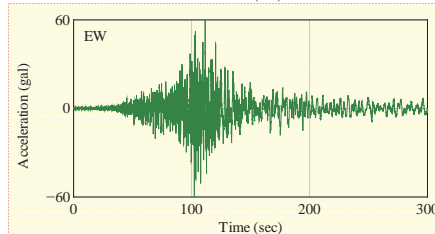
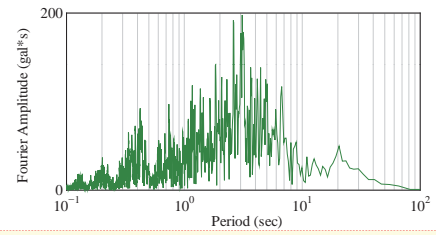
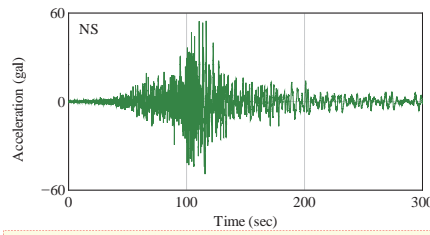
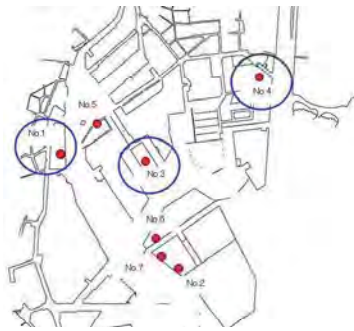
エネルギーの散逸を表現
 $V_s = 400\text{m/s}$ を仮定

側方境界要素単純せん断変形境界

届いた地震は小さいが長周期成分を含み継続時間が長かった

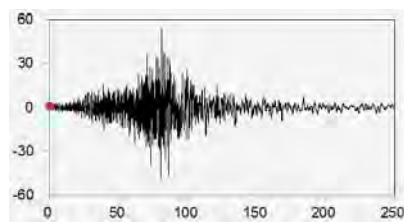
品川地震観測所

GL-36m 本震

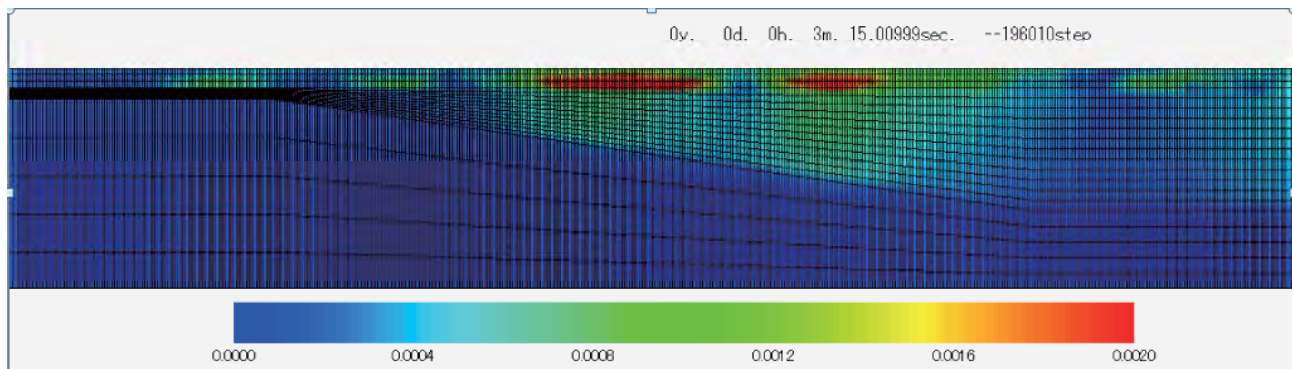


2E波として、その半分を地盤底面水平方向に等しく入力
 東京都港湾局 (<http://www.kouwan.metro.tokyo.jp/business/keiyaku/kisojoho/jishindou.html>)

地層傾斜の影響 ~傾斜部とその右側で非一様なせん断ひずみが発生~

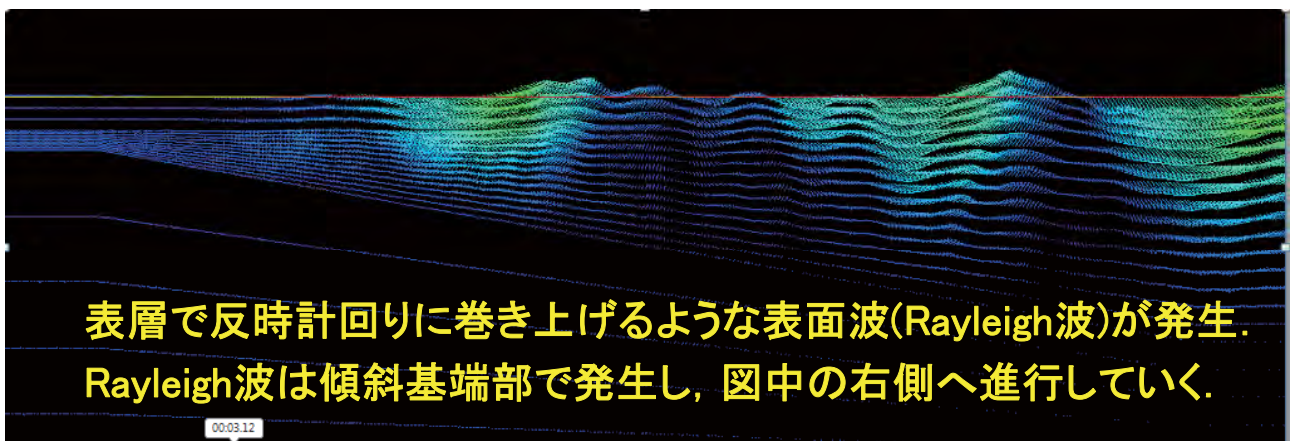
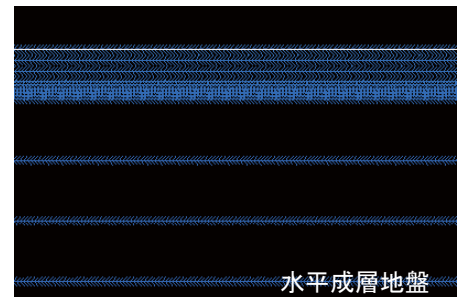
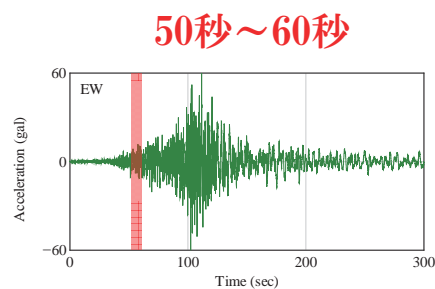


地層傾斜の真上あたりで大きな液状化被害



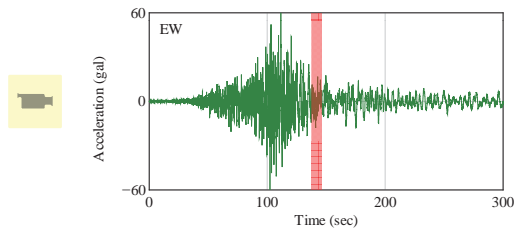
わずかの地層傾斜が
地盤変状を拡大するのは、
表面波の発生による。

地層傾斜により**表面波**が発生 ～速度ベクトルの縦成分を着色～

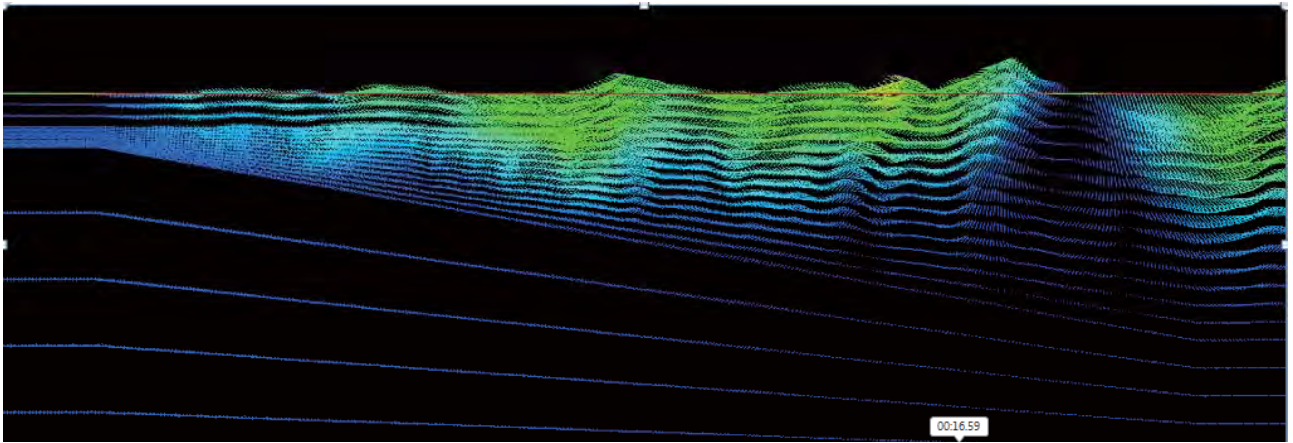
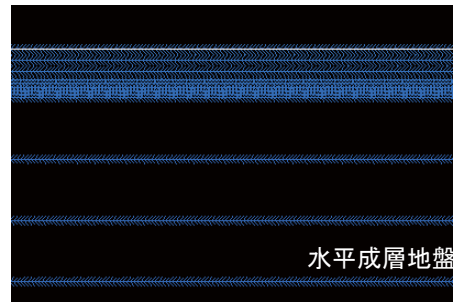


地層傾斜により**表面波**が発生 ～速度ベクトルの縦成分を着色～

細かく出力 50秒～60秒

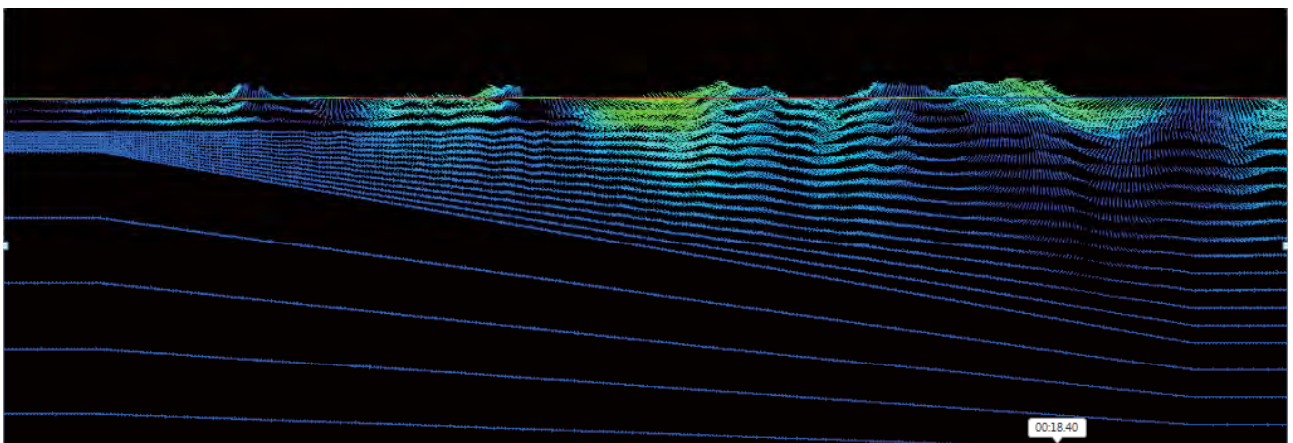
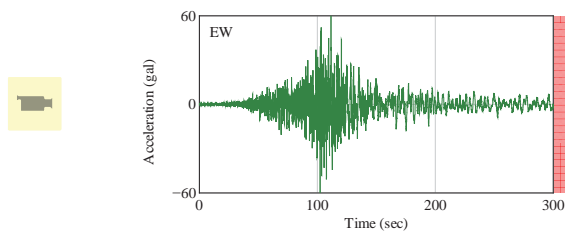


水平成層では地表での液状化なし



なかなか減衰しない

細かく出力 300秒～310秒



浦安の液状化

- ・沖積谷(地層傾斜)のため

山側から**長周期の表面波**が発生し、
下からの実体波と重なり、
表層の変位を拡大させた。

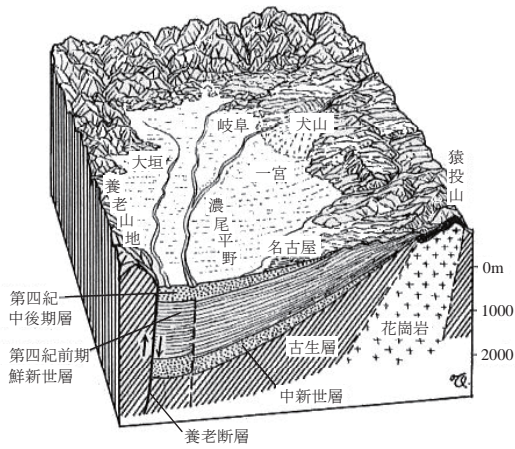
これにより、粘土混じり砂層さえ、液状化に至った。

- ・**継続時間が極めて長く、被害を拡大。**

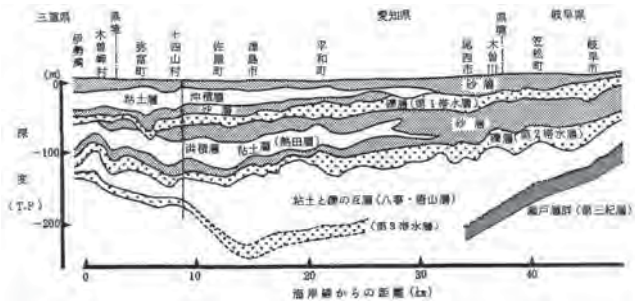
浦安のような地形は、
特殊ではなく、実は
東京、大阪、名古屋どこでも見られる

たとえば
濃尾平野(名古屋市西郊)では？

広大な堆積盆地に立地する名古屋



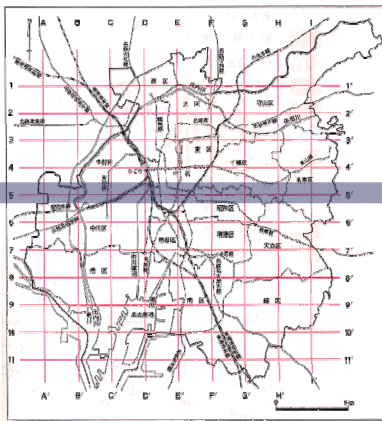
浅岡美穂, 井関弘太郎(1966): 愛知県地理 日本地理集成, 光文館



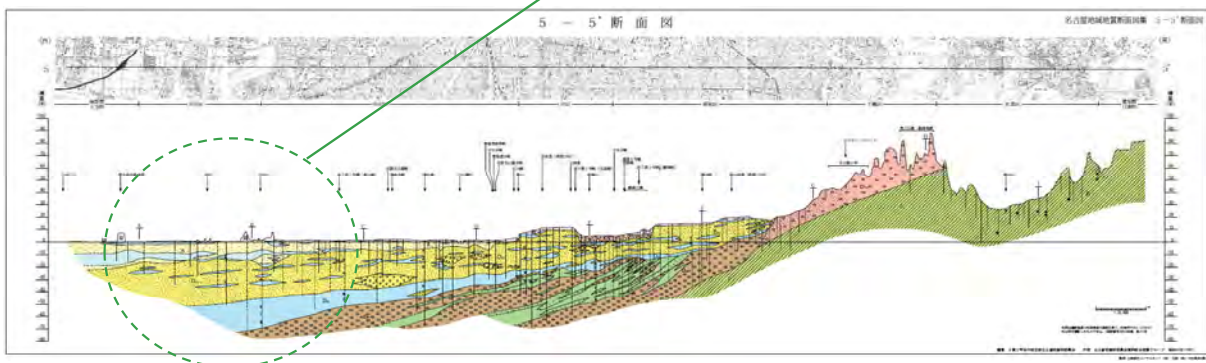
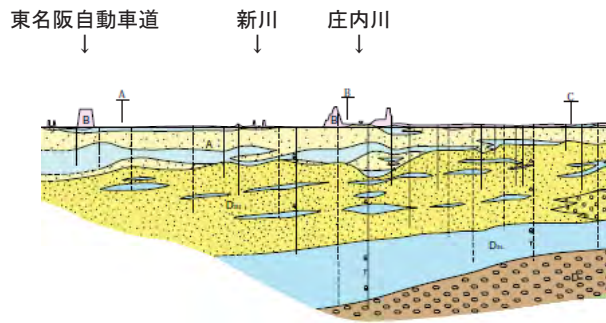
東海三県地盤沈下調査会編 (1978): 昭和52年における濃尾平野の地盤沈下の状況

濃尾平野の表層地盤 ⇒ 液状化しやすい砂質土が粘土層と互層になって堆積

名古屋市域の地図

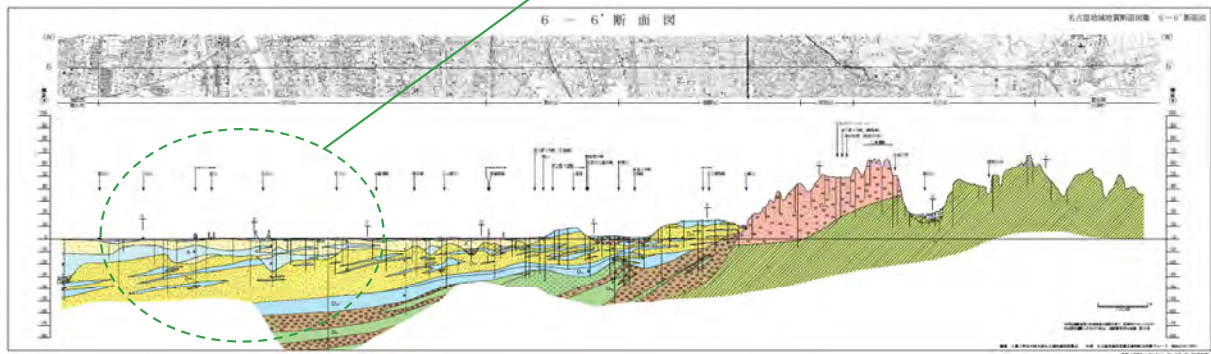
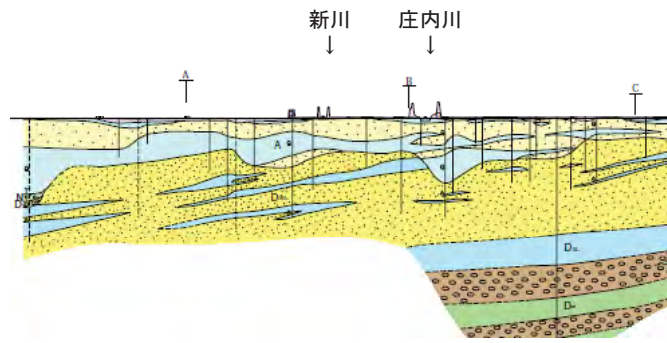
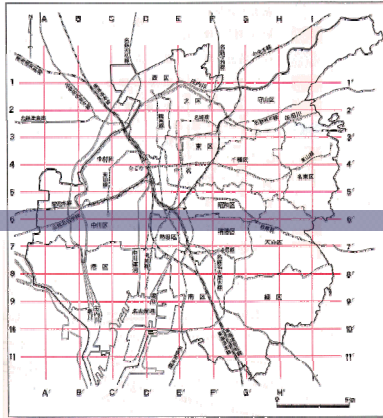


このあたりから南は



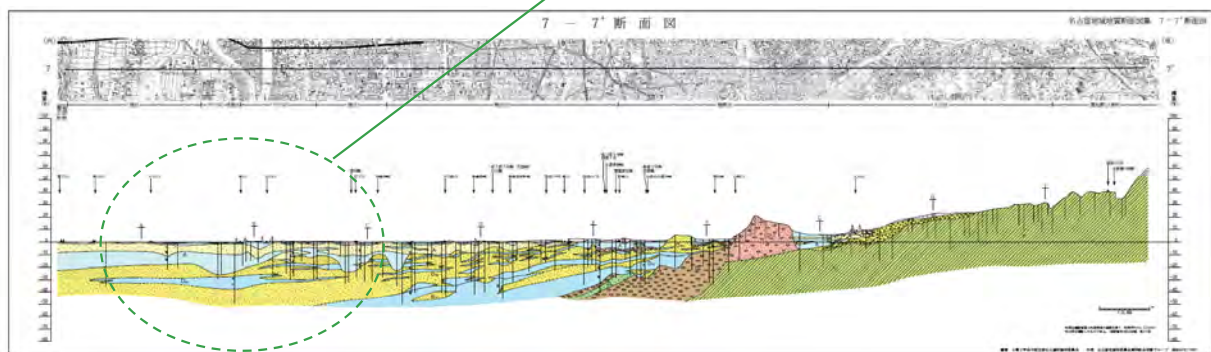
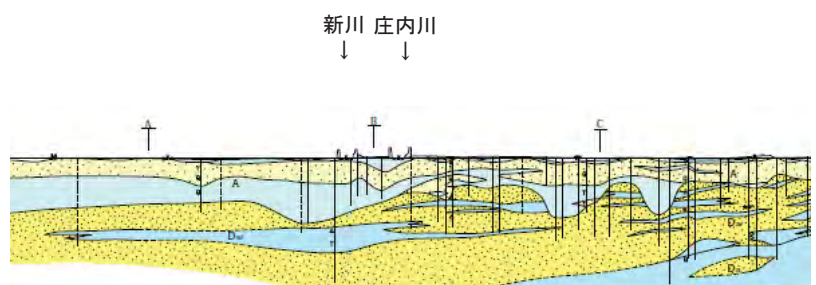
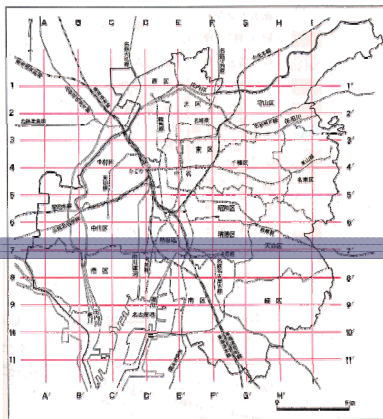
ゼロメートル地帯で

最新名古屋地盤図(土質工学会中部支部)

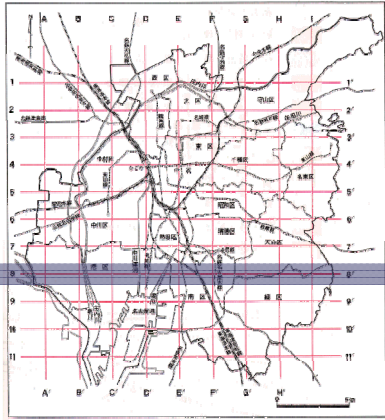


地下水位は高く

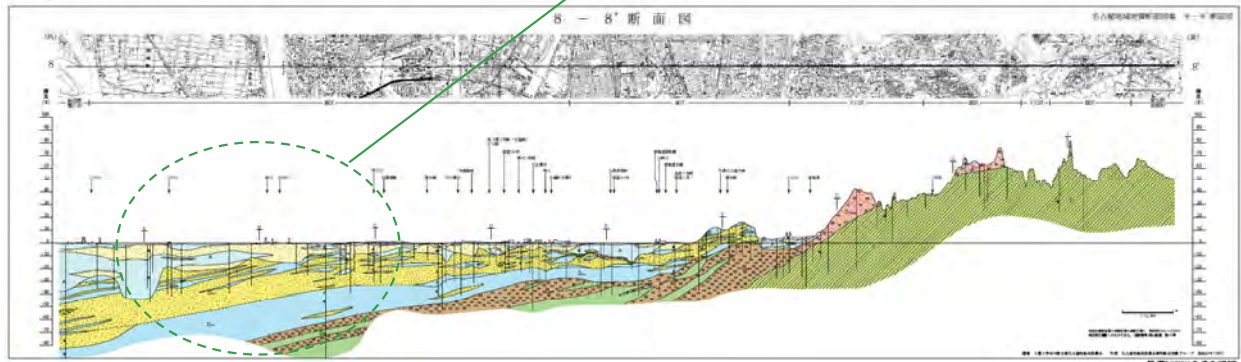
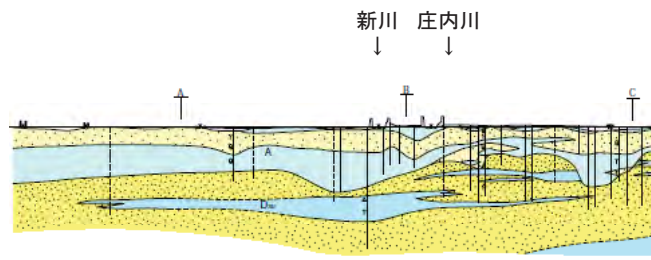
最新名古屋地盤図(土質工学会中部支部)



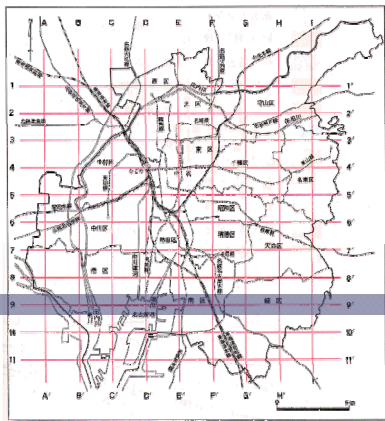
最新名古屋地盤図(土質工学会中部支部)



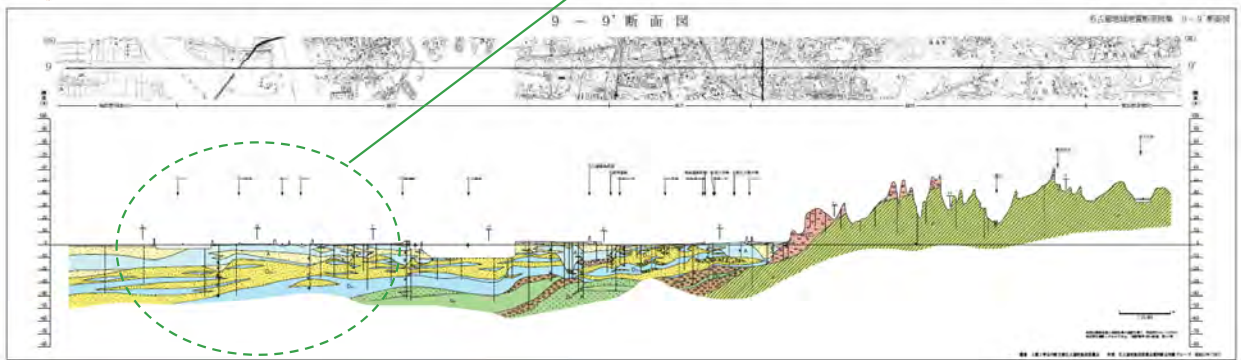
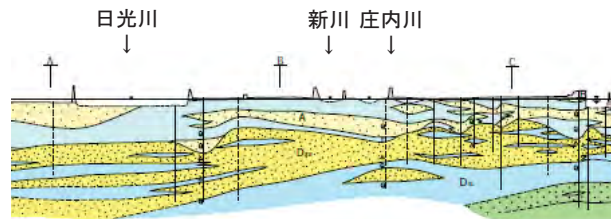
地層傾斜もあり



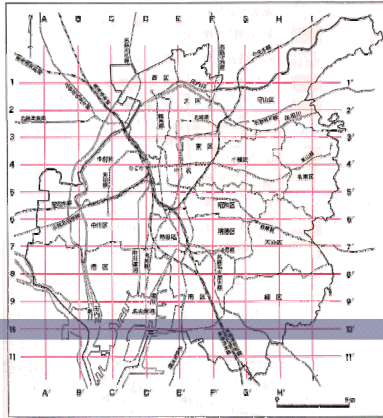
最新名古屋地盤図(土質工学会中部支部)



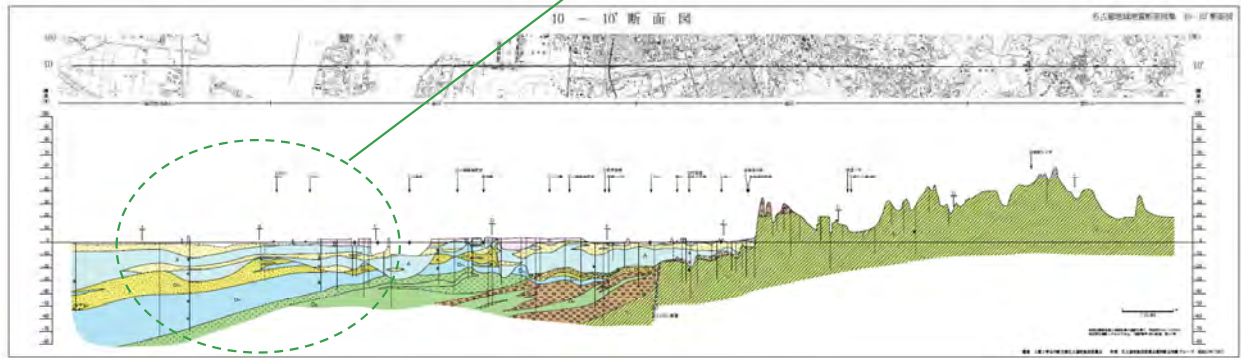
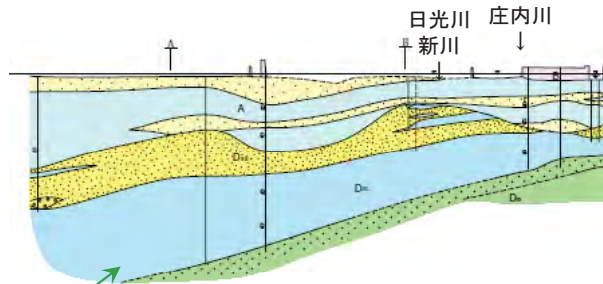
だから、次の大地震では、砂～粘土互層地盤には、液状化・滑りなど大変状が出る。



最新名古屋地盤図(土質工学会中部支部)



さらに**ゼロメートル地帯**であることが被害を拡大する。



東京・名古屋・大阪
3都市は共通して、
広大な**ゼロメートル地帯**
を抱えている。

ゼロメートル地帯/広域地盤沈下は、
戦後経済成長期での **地下水汲み上げ** によって
大々的に出現！
人工的な地形改変・・・「公害」

日本は**400万人**が**ゼロメートル地帯**に住む！

大阪**138万人**

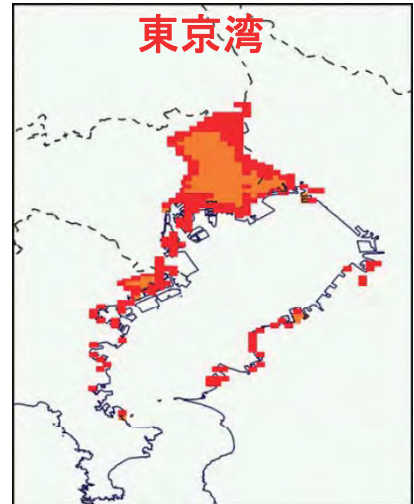
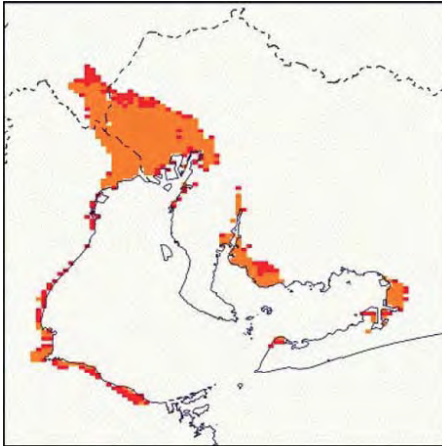
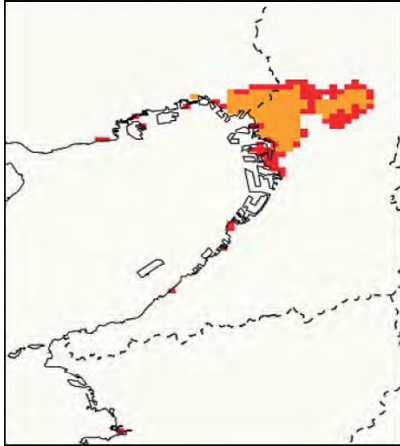
名古屋**90万人**

東京**176万人**

大阪湾

伊勢湾

東京湾



124km²

淀川水系

336km²

木曾三川・庄内川など

116km²

荒川・隅田川など

南海トラフ巨大地震
2012年8月29日内閣府中央防災会議での被害想定
最大32万人の死者・行方不明者を想定

被害が最大となるケースと東北地方太平洋沖地震との比較

	浸水面積	浸水域内人口	死者・行方不明者	建物被害 (全壊棟数)
東北地方太平洋沖地震	561km ²	約62万人	約18,800人	約130,400棟
南海トラフ巨大地震 (参考:2003年の東海・東南海・南海地震想定)	1,015km ² (-)	約163万人 (-)	約323,000人 (約24,700人)	約2,386,000棟 (約940,200棟)
倍率	約1.8倍	約2.6倍	約17倍	約18倍

32万人はその70%以上が津波による死者・行方不明者。
他は「揺れ」による建物倒壊で8万人。

32万人 とは言っても、
それらは、ゼロメートル地帯を守る
水門、堤防 が正常に機能した場合の想定。

ゼロメートル地帯の被災者は
勘定されていない。



新川
破堤3カ所、
越水、内水氾濫

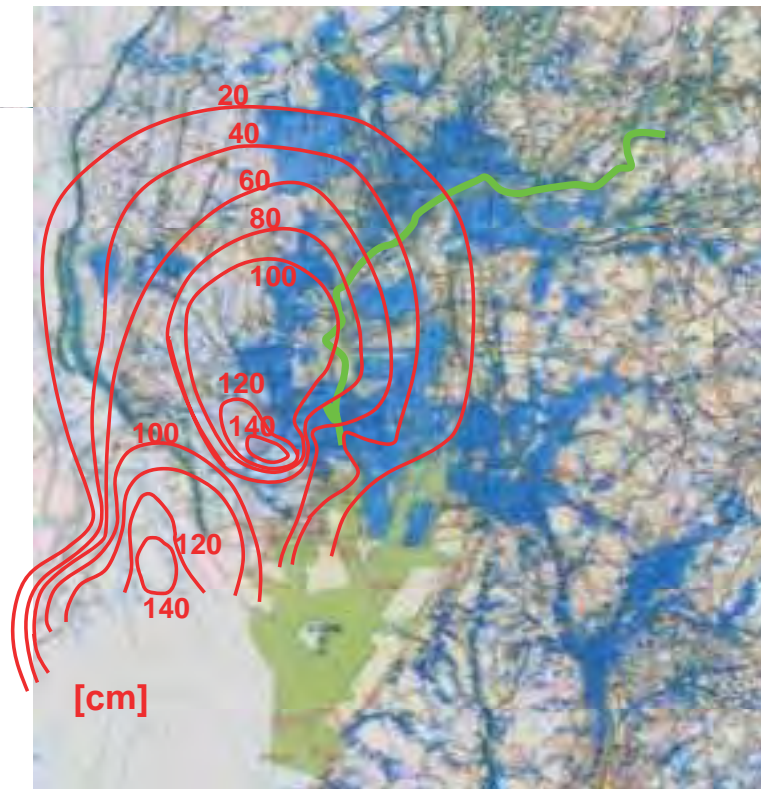
新川 破堤部

「水に弱い名古屋」



2000年東海豪雨
計画高水位を超えて
都市河川(庄内川・新川)
が数カ所で破堤

東海豪雨(2000)の浸水域とゼロメートル域は重なる



水門、堤防は大地震時、必ずどこか壊れる。それをきっかけに、破壊はどんどん進行する。ゼロメートル地帯に海水が浸入すると、**地獄**。ほとんど手の打ちようがない。

(元国交省事務次官青山俊樹)



大都市に共通の地震に対する脆弱性

ゼロメートル地帯の堤防は
「揺れ」で、本当に大丈夫か？

名古屋圏を例に、考える。

名古屋では、

① **名古屋港高潮防波堤**

と

② **海岸堤防河川堤防**

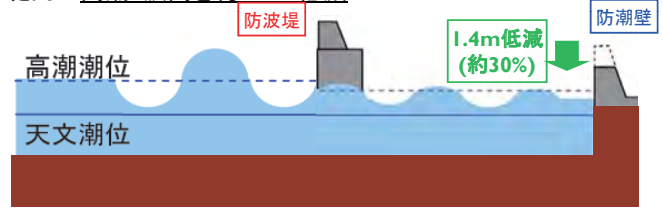
の二重の防護で

ゼロメートル地帯を浸水から守る計画

二重の防護？

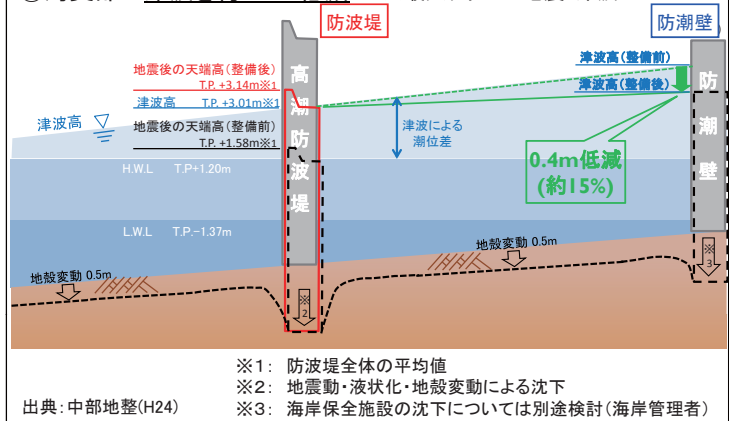


①堤内の高潮・波高を約30%低減



出典：伊勢湾等高潮対策協議会(S35.10)

②湾奥部の津波を約15%低減 ※最大クラスの地震・津波



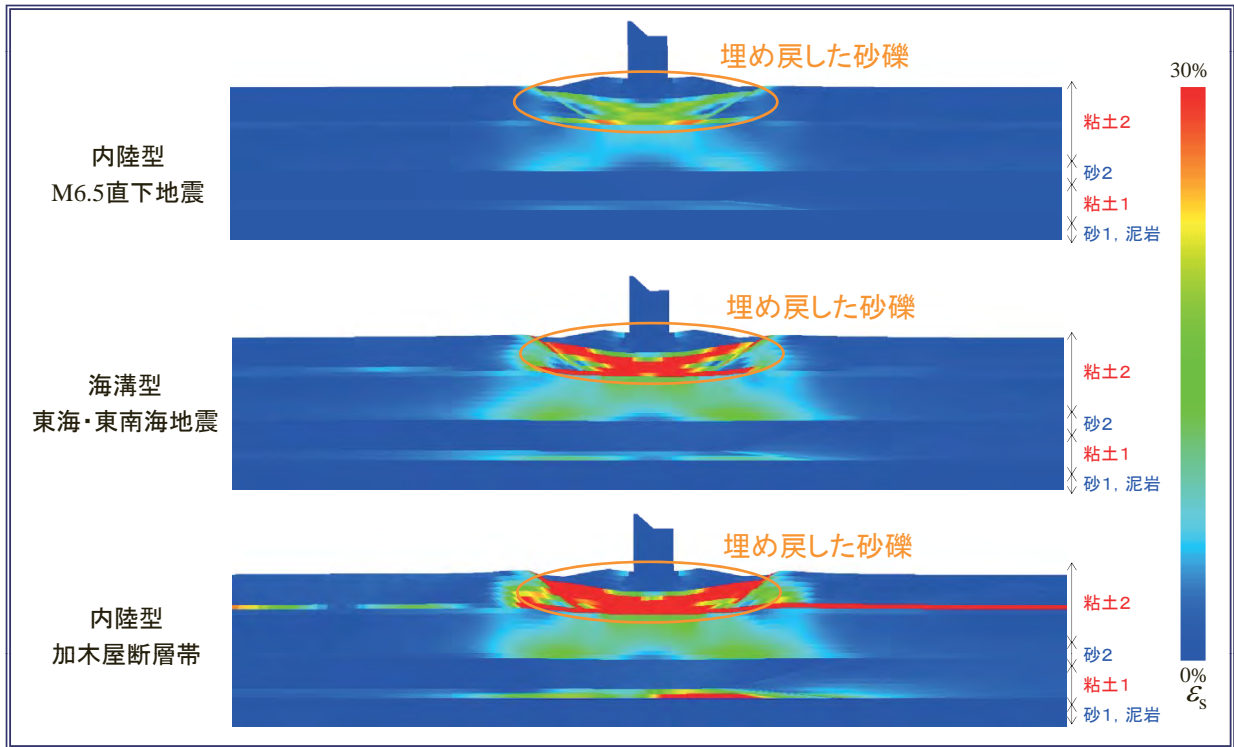
出典：中部地整(H24)

まず、 名古屋港の高潮防波堤

(津波波力は考えていません。)

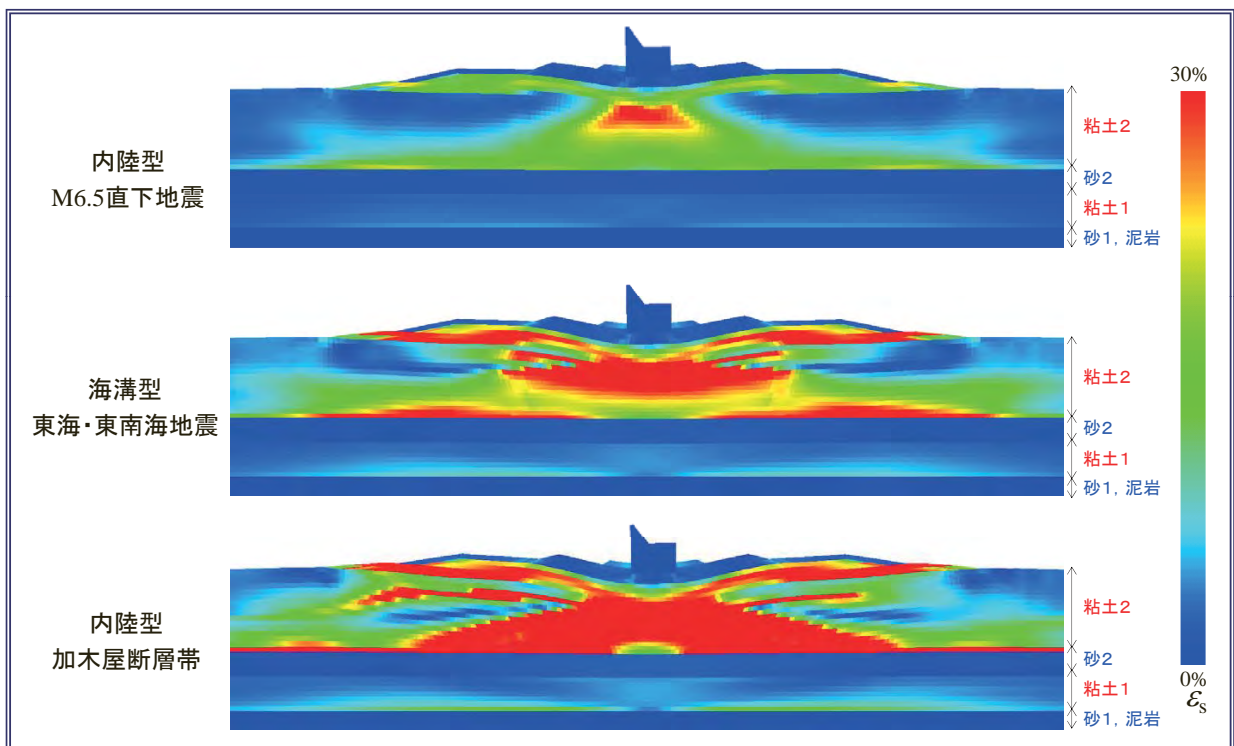
想定地震外力によって、被害は様々・・・砂地盤の例

置換堤(下部がほとんど砂地盤)



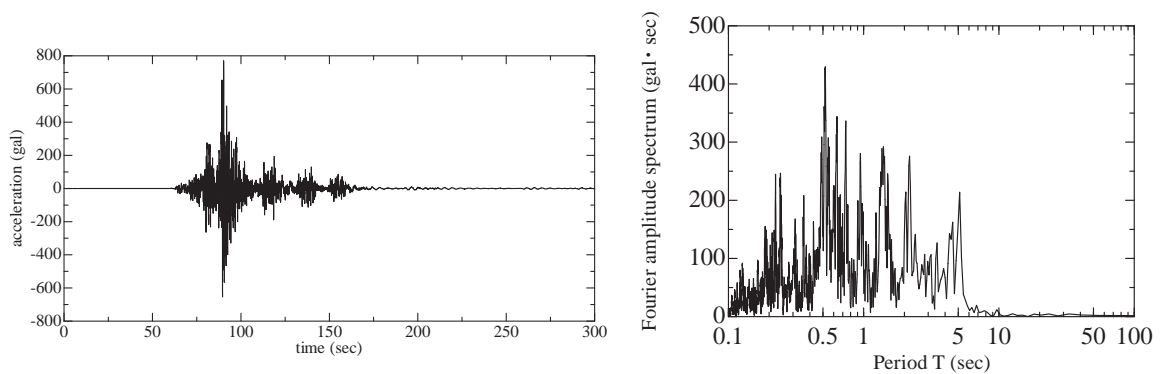
想定地震外力によって被害は様々・・・粘土地盤の例

ドレーン堤(下部が砂層をはさんだ厚い粘土地盤)



つぎに 海岸/河川堤防の地震時挙動

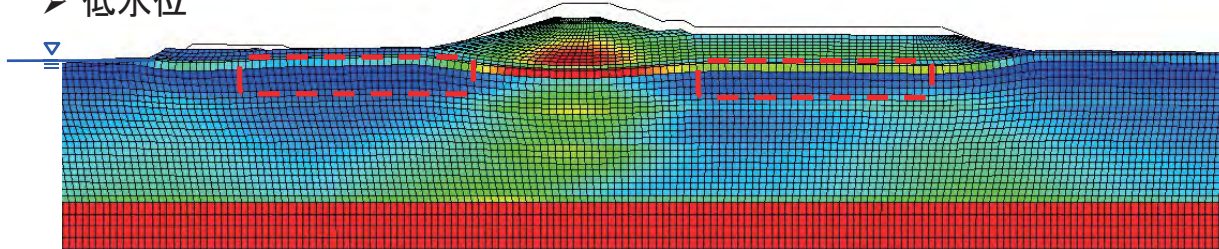
庄内川下流の堤防に、もし1~5秒の長周期成分を含む地震の揺れが来たら？



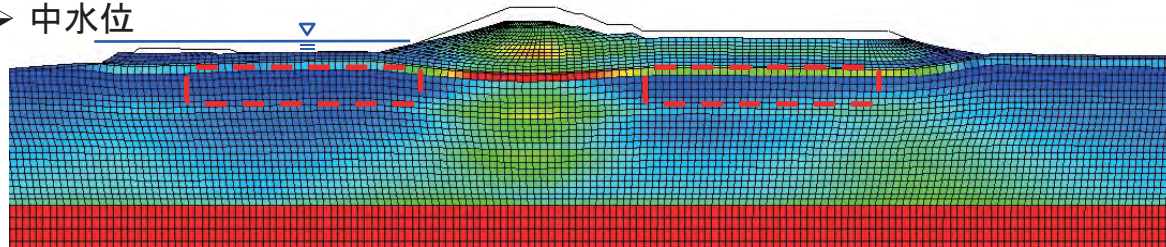
南海トラフ5連動地震(陸側ケース)のNS成分を入力

平均有効応力(地震終了時) 0 [kPa] 50 [kPa]

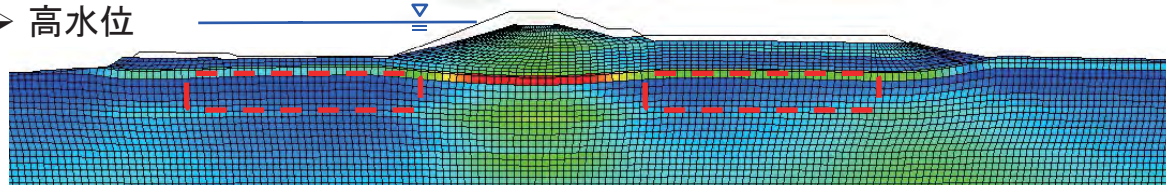
▶ 低水位



▶ 中水位

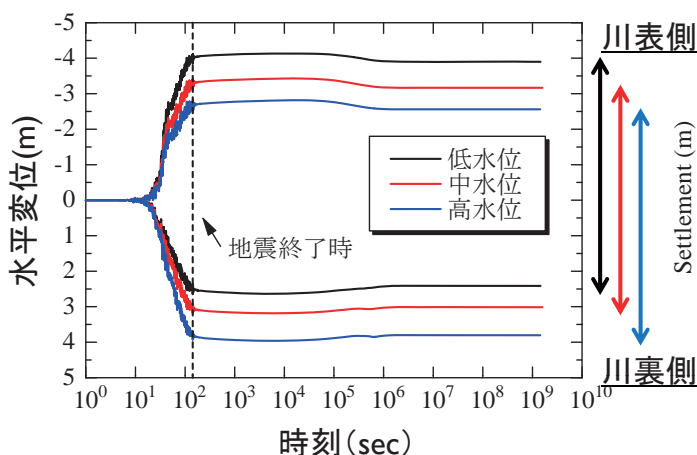


▶ 高水位

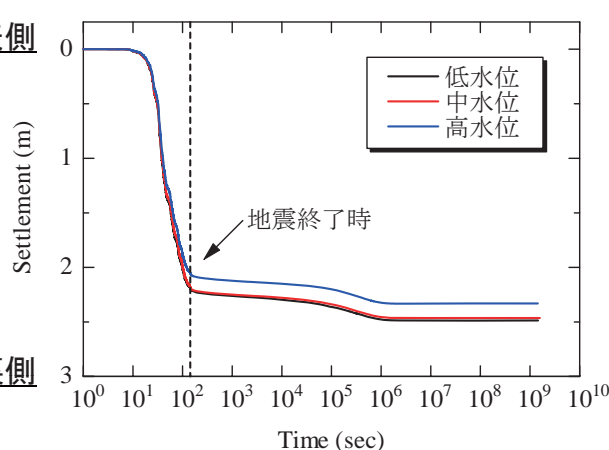


どの河川水位でも、平均有効応力が低下して砂層で液状化が発生

法尻の水平変位



天端沈下量



どの河川水位の場合でも、

堤防は横幅が**6~7m**広がり、堤体天端は約**2.5m**沈下。

どの河川水位の場合でも津波が来れば越水して破堤

津波が来なくても、高水位では越水して破堤

南海トラフ地震が来れば、現在の堤防でゼロメートル地帯を守るのは難しい！

ゼロメートル地帯の
粘性土地盤上の河川堤防の

河川改修が進捗している事例がある。

山崎川

(名古屋市千種区の平和公園猫が洞池から
昭和区、瑞穂区、港区を経て名古屋港に至る
延長13.6kmの
名古屋市中心を貫流する人工河川(運河)、
桜の名所)

山崎川下流域付近の**海拔ゼロメートル地帯(瑞穂区・港区)**には住宅密集地が広がる。
海溝型地震発生時には最大**2.9m**の津波が予想されている。

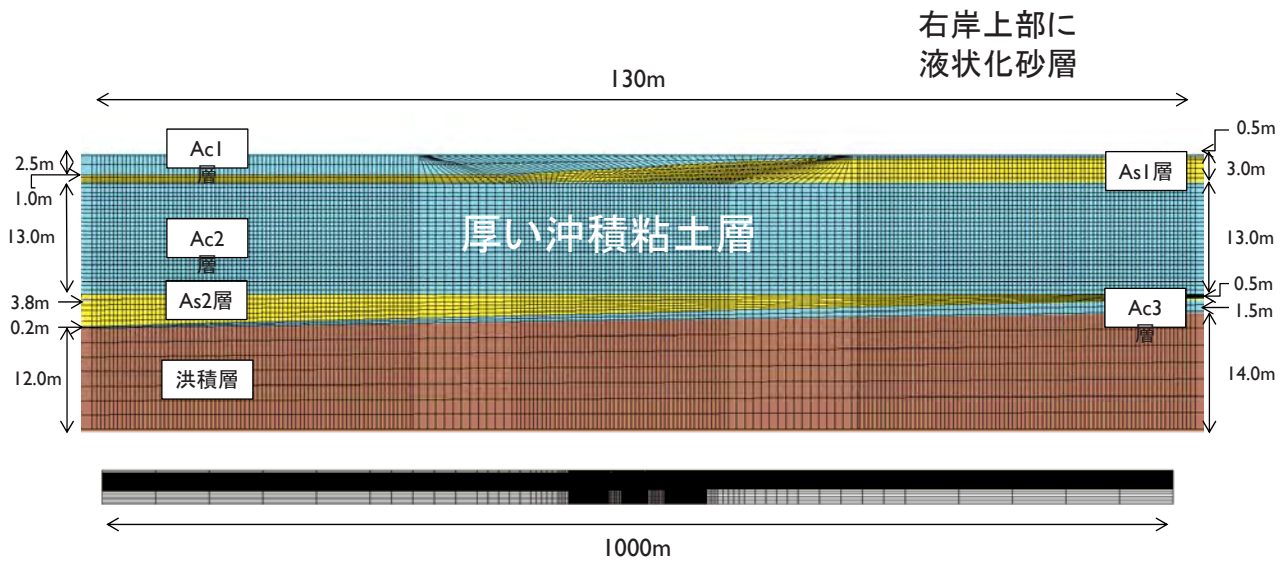
パラペットを嵩上げて対応



築堤により下流域では堤防はすでに60cm沈下している

初期地盤

N値0~3程度の軟弱な沖積層が20m程度堆積している。

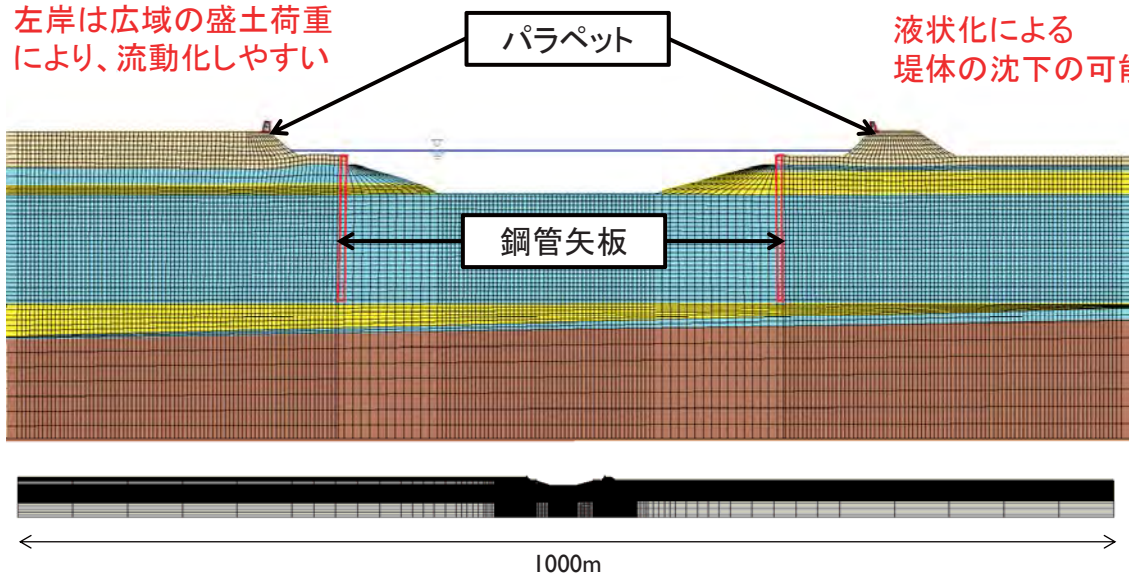


約60年前に、ここに運河(山崎川)を作った。

築堤後こうなった。

左岸は広域の盛土荷重により、流動化しやすい

液状化による堤体の沈下の可能性大



鋼管矢板はAc2層の途中まで根入れされている

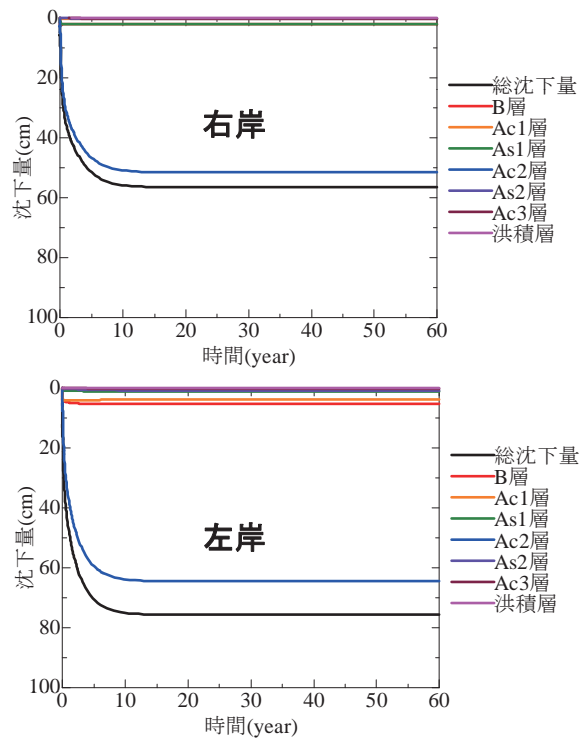
堤防の沈下は築堤後15年程度で収束

パラペット位置での層別沈下量

築堤から約60年経った現在では沈下は収束している
測量結果も昭和50年以降ほぼ横ばい



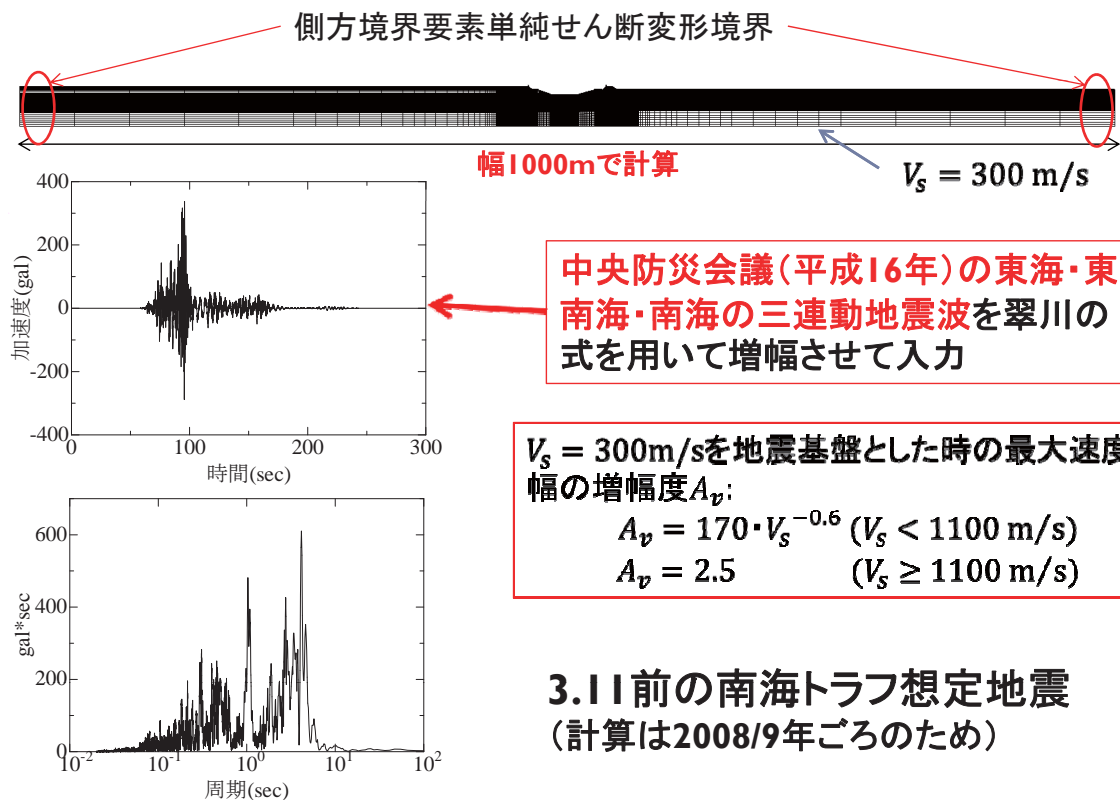
地震さえ来なければ
この運河はもう大丈夫。
どうもない。



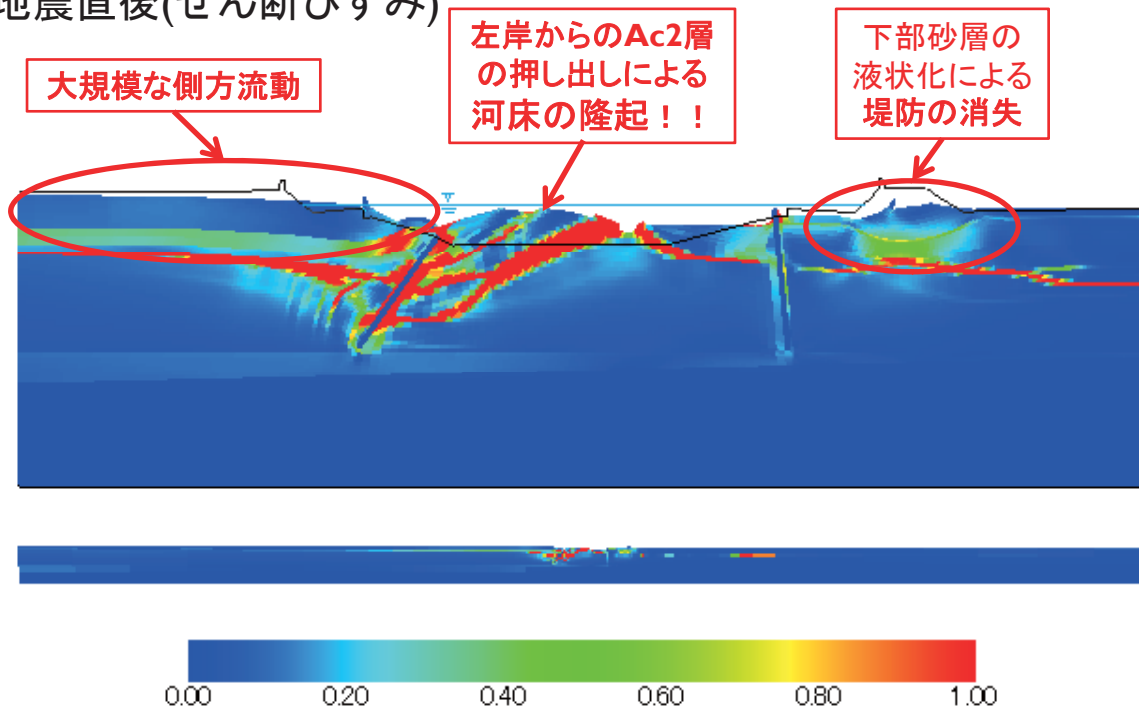
ところがいつかは必ず地震は来る！

(3.11前の計算で、古い外力想定に基づく計算で
恐縮です)

入力地震波と境界条件

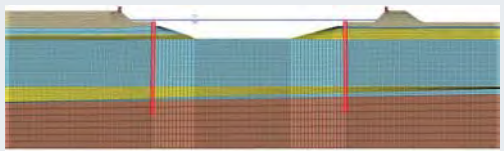
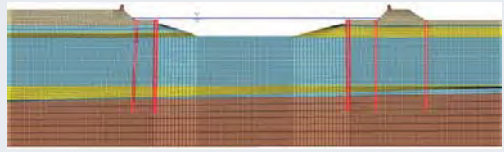
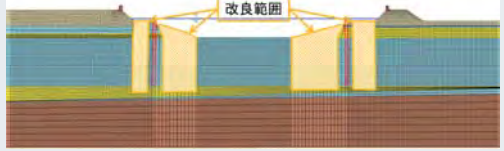
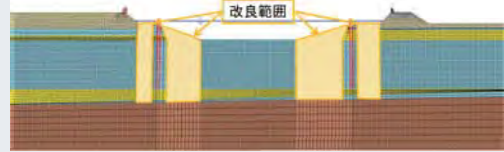
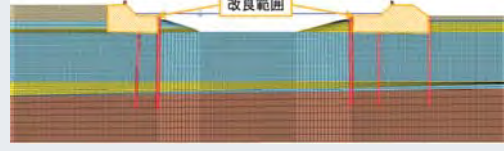


地震直後(せん断ひずみ)



2mを超える堤防の沈下と河床の隆起
地震後の津波/高潮による堤内地浸水は必至

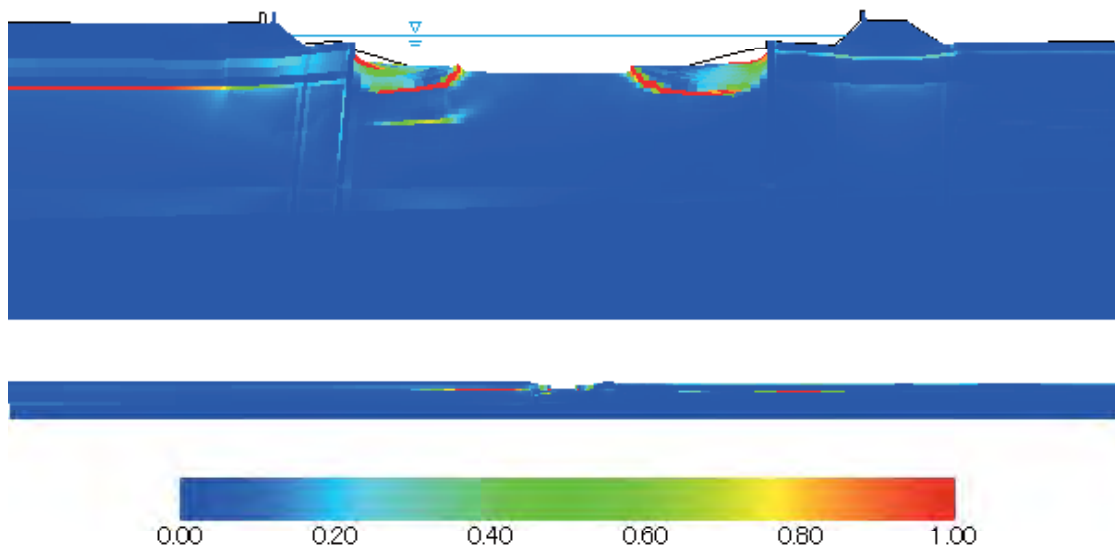
国はともかく、名古屋市は立派！ 山崎川下流堤防の耐震工事が進捗

Case1	既存の鋼管矢板を延長した場合	
Case2	鋼管矢板を盛土法尻に増設した場合	
Case3	堤防前面の沖積層を途中まで地盤改良した場合	
Case4	堤防前面の沖積層を全て地盤改良した場合	
Case5	鋼管矢板を増設し、堤体を地盤改良した場合	

耐震対策工の検討-鋼管矢板を増設+地盤改良

地震後(せん断ひずみ)

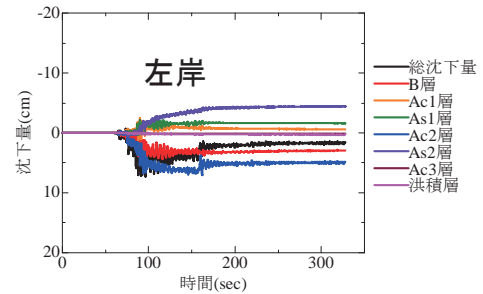
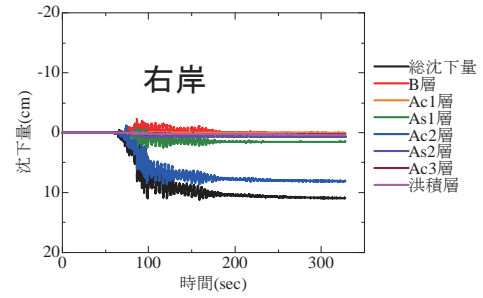
側方流動, 河床の隆起, 堤防の沈下を抑制



耐震改修によって

パラペット位置での層別沈下量

IK400	沈下量(cm)		堤防高(m)	
	左岸	右岸	左岸	右岸
B層	2.92	0.09	3.80	3.91
Ac1層	-0.60	0.05		
As1層	-1.60	1.50		
Ac2層	4.87	8.08		
As2層	-4.41	0.66		
Ac3層	0.11	0.26		
洪積層	0.29	0.30		
総沈下量	1.59	10.94		



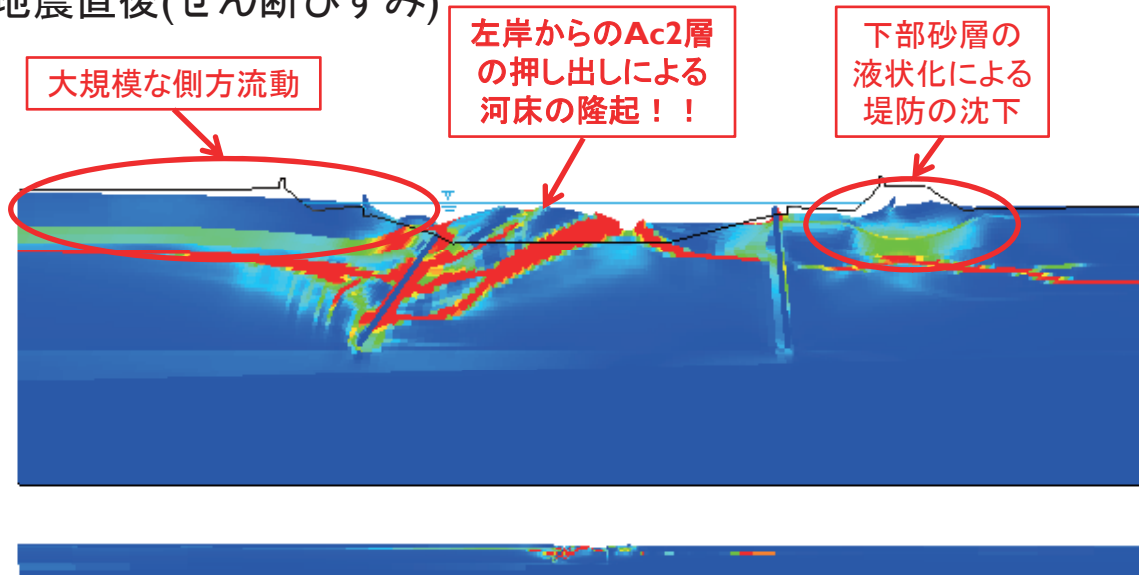
側方流動と河床の隆起による過剰な水位上昇はほとんどない

➡ いまでは2.5mの津波まで防ぐことができる

33

耐震改修しない場合と大違い！

地震直後(せん断ひずみ)



側方流動規模はきわめて大きい。

大都市では 臨海/沿岸域の防災力強化が急務

防災(ハードで防ぐ)の課題を
「減災」つまり「逃げる」に
丸投げしてはいけない。

東海豪雨は
河が雨で
溢れただけ。
高潮、津波は
海水が浸入

伊勢湾台風
高潮3.5m

中央防災会議
津波 5m

海面が**3m**
上昇したら
(想定津波
が来たら)

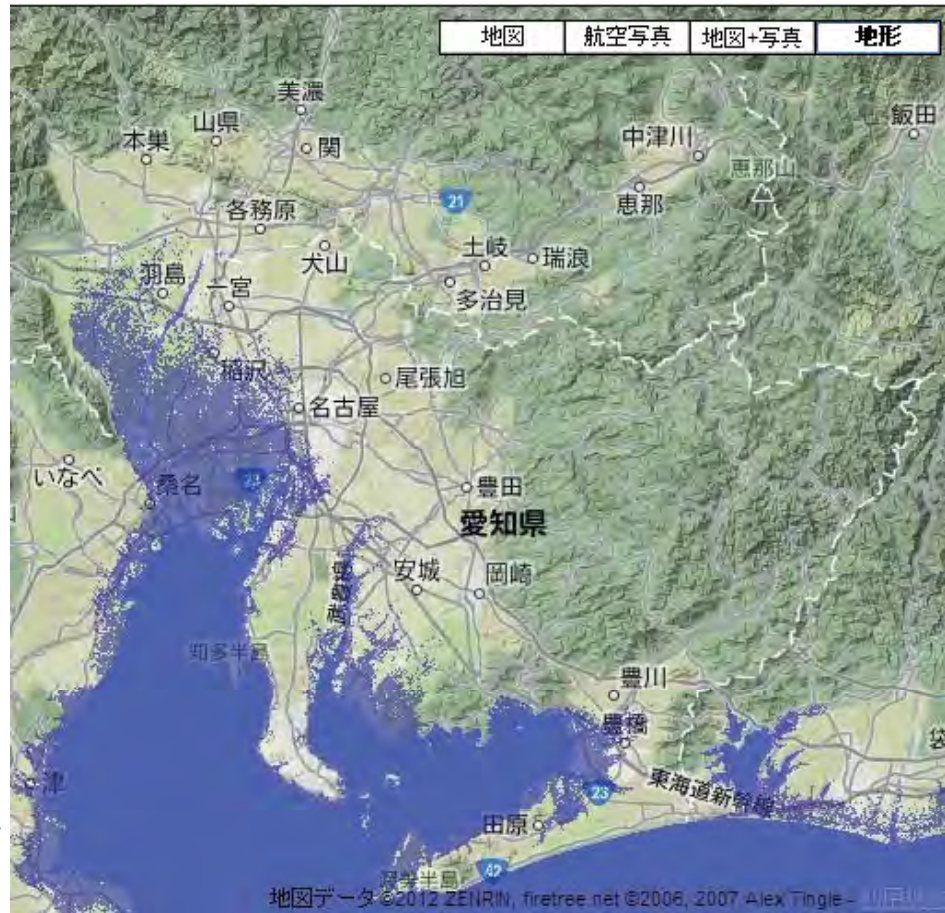


海面が**3m**上昇したら(想定津波が来たら)

明応地震の時(1498年)津波の引き波で浜名湖は外海と繋がった。

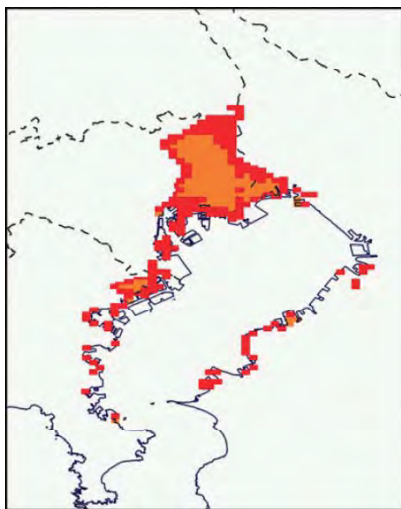
伊勢、津はこの津波で壊滅し以後200年間地震から立ち直れなかった。

ところがこれらを全部忘れて戦後広大な、ゼロメートル地帯を作った。



日本は**400万人**が**ゼロメートル地帯**に住む！

東京**176万人**



116km²

江東三角地帯は海拔最深マイナス2m。満潮時プラス2mだから、堤防は毎日4mの負荷に耐えている。

堤防が壊れたら、家屋浸水、道路とメロは冠水。しかも海水！

逃げられない/帰れないのが何カ月も続く。

年寄りと子供から・・・

海拔ゼロメートル地帯(人災)！

戦後70年で
街は、すでに階級化してしまった！

それでも
住まない方がいいところ
が多いことだけは、
もっと知らされてもよい。

…広域移転とスーパー堤防は土木技術者の見果てぬ夢！

提言(2)
適地の選択
解説 おわり