

独立行政法人

日本原子力研究開発機構

21核サ研 地震随伴事象の調査解析業務(津波)

(その2)

報 告 書

平成 22 年 2 月

東 電 設 計 株 式 会 社



目 次

1. 業務概要	1
1.1 目的	1
1.2 実施期間	1
1.3 実施内容	2
1.4 実施体制	3
1.5 関係基準	4
2. 断層による津波に関する検討	5
2.1 津波解析モデル及び解析条件	5
2.2 想定鹿島灘の地震に関する検討	10
2.3 海域 F3-F4b 断層に関する検討	28
2.4 津波影響評価	46
3. 敷地近傍の活断層による地殻変動に伴う基礎地盤の傾斜に関する検討	50
3.1 地殻変動量算定の検討概要及び条件	50
3.2 F3+F4b 断層による地殻変動量の検討	54
3.3 鹿島灘断層による地殻変動量の検討	68
4. まとめ	81

<添付資料>

- ・ 概要版
- ・ 打合せ議事録

1. 業務概要

1.1 目的

平成 18 年 9 月 19 日付けで原子力安全委員会により「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の耐震安全性に係る安全審査指針類が改訂された。これに伴い、改訂された耐震指針(以下、「新耐震指針」という。)に照らした耐震安全性評価を実施する必要がある。

これまで、サイトに影響があると考えられる地震として、日本海溝寄りの地震、房総沖の地震、チリ地震等を対象に津波影響評価を実施した。

本業務は、東海サイト敷地内施設の津波影響評価に資するための調査解析業務であり、最新の保安院WGの動向や最新の知見、新規に実施した海域音波探査結果、過年度に実施した津波評価等を踏まえ、あらたに想定される地震(断層)について検討を行うものである。

1.2 実施期間

着手：平成 22 年 1 月 14 日

完了：平成 22 年 2 月 26 日

1.3 実施内容

(1) 断層による津波に関する検討

以下に示す断層モデルによる津波高さ等の検討を行う。

①想定鹿島灘の地震

②海域 F3・F4b 断層

なお、敷地近傍の断層による津波の場合、局所的なすべり(地盤変位)が津波高に及ぼす影響が大きいとの指摘があるので、基準地震動策定により設定されたアスペリティを考慮したモデル(アスペリティモデル)と土木学会手法により設定される一様すべりモデル(一様すべりモデル)について比較検討する。

(2) 敷地近傍の活断層による地殻変動に伴う基礎地盤の傾斜に関する検討

くいちがい弾性論に基づく解析により、「想定鹿島灘の地震」、「海域 F3・F4b 断層」の変位によって生じる再処理施設分離精製工場建家基礎地盤の傾斜角を検討する。なお、解析方法は、Okada モデル及び Wang et al. (2003)に基づく多層モデルとする。

(3) 報告書作成

本業務により得られた解析結果及び評価結果をまとめる。

1.4 実施体制

業務実施体制を表 1.4-1 に示す。

表 1.4-1 業務実施体制

職種	名前	所属・連絡先	担当
総括責任者	■■■■■	土木本部 社会基盤推進部 ■■■■■	・業務総括
担当者	■■■■■	土木本部 社会基盤推進部 ■■■■■	・断層による津波に関する検討 ・報告書作成
担当者	■■■■■	土木本部 社会基盤推進部 ■■■■■	・断層による津波に関する検討 ・報告書作成
担当者	■■■■■	土木本部 耐震技術部 ■■■■■	・敷地近傍の活断層による地殻変動に伴う基礎地盤の傾斜に関する検討 ・報告書作成
担当者	■■■■■	土木本部 耐震技術部 ■■■■■	・敷地近傍の活断層による地殻変動に伴う基礎地盤の傾斜に関する検討 ・報告書作成

1.5 関係基準

本業務の遂行にあたって、次に示す関係諸基準及び図書を熟知し、仕様書で特に規定していない事項については、これに準拠する。

- ①発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針(平成 18 年 9 月 19 日原子力安全委員会決定)
- ②「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の改訂に伴う既設発電用原子炉施設等の耐震安全性の評価等の実施について(平成 18 年 9 月 20 日 経済産業省 原子力安全・保安院)
- ③土木学会・原子力土木委員会「原子力発電所の津波評価技術」
- ④日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針」(JEAG4601-2008)
- ⑤活断層等に関する安全審査の手引き(平成 20 年 6 月 20 日原子力安全委員会了承)
- ⑥原子力発電所における安全のための品質保証規程(JEAC4111-2009)

2. 断層による津波に関する検討

本検討は、①想定鹿島灘の地震及び②海域 F3+F4b 断層に関する断層モデルを設定し、地震に伴って発生する津波に関する検討を行う。

津波に関する検討は、両モデル共に基準地震動策定により設定されたアスペリティモデルと、「原子力発電所の津波評価技術：平成 14 年 2 月 (社) 土木学会¹⁾」(以後、「津波評価技術」と称す。)に記載されている内容を勘案して設定した一様すべりモデルの 2 種類のモデルに関して行う。

2.1 津波解析モデル及び解析条件

本検討における津波解析モデル及び解析条件は、「19 核サ研地震随伴事象の調査解析業務（津波）：平成 21 年 3 月」(以後、「19 核サ研業務」と称す。)と同様のものを用いた。計算格子は、基本格子の 4320m 格子から順次細分化を行い、対象地点周辺では 10m 格子とした。計算における格子分割図を図 2.1-1 及び図 2.1-2、10m 格子の鳥瞰図を図 2.1-3 に示す。

津波高さの評価は、図 2.1-4 に示す原子力科学研究所前面の海岸線沿い及び核燃料サイクル工学研究所の真砂橋付近で行うものとする。

津波解析条件を表 2.1-1 に示す。計算時間は津波発生後から 3 時間とし、初期潮位は朔望平均満潮位の T.P.+0.603m とした。

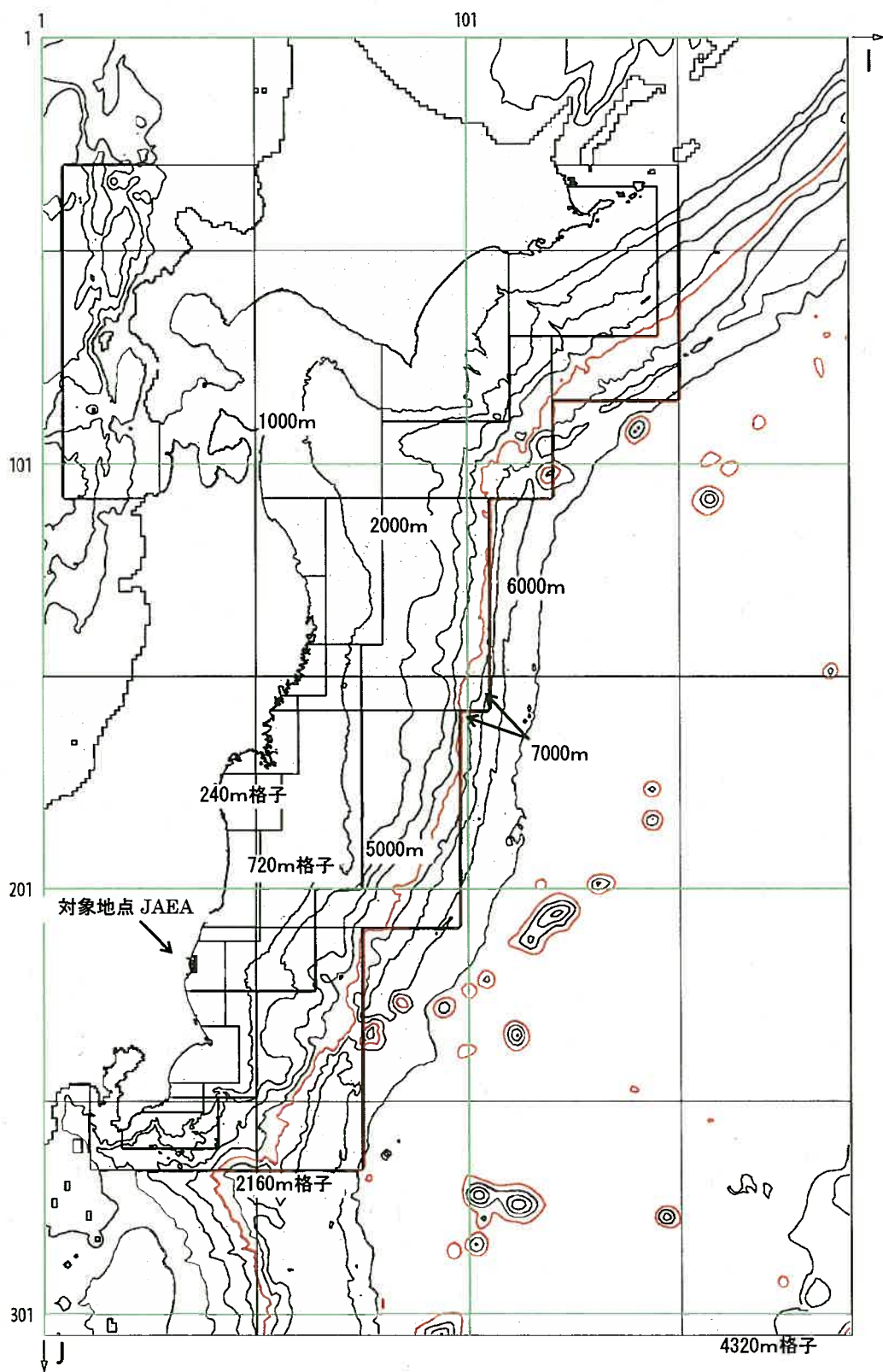
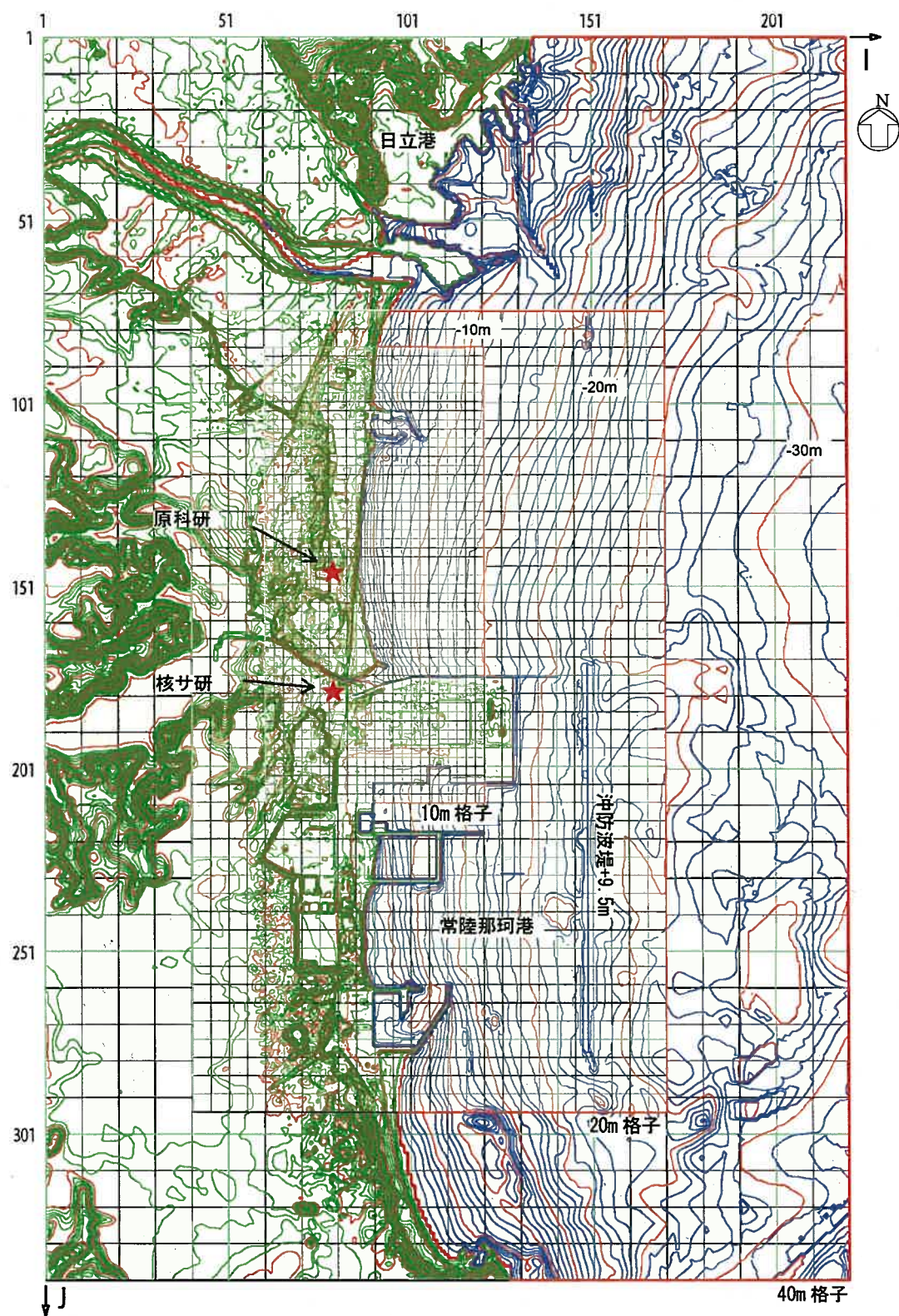


図 2.1-1 計算格子の分割 (4320m・2160m・720m・240m 格子)



- 注 1) 図中の数字は TP (m) で表示
 注 2) 等高線及び水深線は 1m ビッチ表示
 注 3) 格子の線は 10 格子ごとに表示

図 2.1-2 計算格子の分割 (40m・20m・10m 格子)

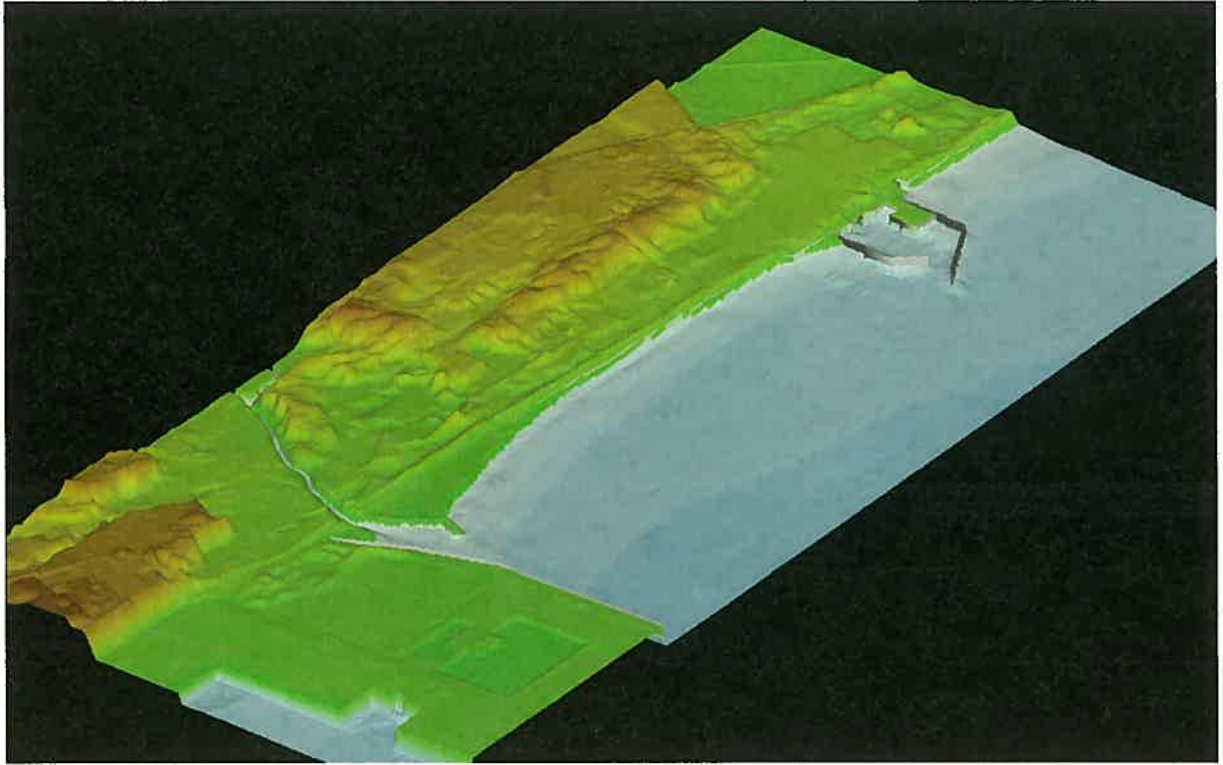


図 2.1-3 敷地周辺の鳥瞰図 (10m 格子)



図 2.1-4 津波高さの評価位置

表 2.1-1 津波解析条件

解析領域	北海道から千葉房総付近までの太平洋
メッシュ構成	沖合 4,320m→2160m→720m→沿岸域 240m→日立港から常陸那珂港周辺 80m→40m→20m→敷地周辺 10m へ順次細分化
基礎方程式	非線形長波理論
計算スキーム ²⁾	スタッガード格子, リープ・フロッグ法
初期変位量	Mansinha and Smylie の方法 ³⁾
境界条件	沖側：自由透過, 陸側：完全反射 (240m メッシュ以上)
越流条件	防波堤：本間公式 ⁴⁾ , 護岸：相田公式 ⁵⁾
潮位条件	朔望平均満潮位 H. W. L. = T. P. +0.603m
計算時間間隔	$\Delta t = 0.25$ 秒
計算時間	津波発生後 180 分間

2.2 想定鹿島灘の地震に関する検討

想定鹿島灘の地震に関する検討は、「19 核サ研業務」で津波の影響が大きいと想定された CASE4 及び CASE7 に着目して行う。

(1) アスぺリティモデルによる検討

想定鹿島灘の地震におけるアスぺリティモデルに関する検討を行った。着目した CASE4 及び CASE7 の地震動評価で用いた諸元を図 2.2-1、津波解析で用いた断層諸元を表 2.2-1、断層位置を図 2.2-2 に示す。

初期水位分布を図 2.2-3、対象地点の代表位置における水位の時刻歴波形を図 2.2-4、対象地点周辺の最大水位上昇量分布を図 2.2-5 に示す。最大水位上昇量は、原子力科学研究所前面の海岸線で CASE4 が約 0.82m、CASE7 が約 0.68m、核燃料サイクル工学研究所の真砂橋付近で CASE4 が約 0.88m、CASE7 が約 0.75m であった。

断層パラメータ		設定方法	設定結果	モデル化後の値
基準点座標（断層北東端）		1896年鹿島灘の地震の震央を断層中心とする	36°37' 45" N 141°29' 34" E	36°37'45"N 141°29'34"E
断層上端深さ		推本(2002)のプレート境界面により設定	32.0 km	32.0 km
気象庁マグニチュード		M_J : 垣見マップによる	7.5	7.5
地震モーメント		$M_0=10^{1.5M_J+9.2}$	2.82E+20 N・m	2.82E+20 N・m
モーメントマグニチュード		$M_w=(\log M_0-9.1)/1.5$	7.6	7.6
走向		推本(2002)のプレート境界面により設定	209°NE	209°NE
傾斜角		推本(2002)のプレート境界面により設定	22°	22°
平均応力降下量		$\Delta \sigma=(7/16) \times M_0 / R^3$	2.19 MPa	2.19 MPa
短周期レベル		$A=2.021 \times 10^{17} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	2.86E+19 N・m/s ²	2.86E+19 N・m/s ²
断層面積		$S=\pi R^2$	4621 km ²	4624 km ²
等価半径		$R=(7 \pi M_0 A)^{0.5} \times (S/S_a)^{0.25} \times \beta / 2$	38.4 km	38.4 km
断層長さ		$L=S^{0.5}$	68.0 km	68.0 km
断層幅		$W=S^{0.5}$	68.0 km	68.0 km
剛性率		佐藤(2003)による ($\beta=4\text{km/s}$, $\rho=3\text{g/cm}^3$)	4.80E+10 N/m ²	4.80E+10 N/m ²
平均すべり量		$D=M_0/(\mu S)$	127.1 cm	127.1 cm
破壊伝播速度		$V_R=0.72\beta$ (Geller, 1976)	2.88 km/sec	2.88 km/sec
破壊開始点		パラメータとする	-	-
破壊伝播形式		同心円状	-	-
ア ス ベ リ テ ィ	面積	$S_a=0.348S$	1610 km ²	1630 km ²
	等価半径	$r_a=(S_a/\pi)^{0.5}$	22.6 km	22.8 km
	応力降下量	$\Delta \sigma_a=\Delta \sigma \times (S/S_a)$	6.27 MPa	6.27 MPa
	平均すべり量	$D_a=2.0D$	254.1 cm	254.1 cm
	地震モーメント	$M_{0a}=\mu S_a D_a$	1.96E+20 N・m	1.99E+20 N・m
ア ス ベ リ テ ィ 1	面積	$S_{a1}=(S_a \times (2/3))$	1073 km ²	1144 km ²
	等価半径	$r_{a1}=(S_{a1}/\pi)^{0.5}$	18.5 km	19.1 km
	応力降下量	$\Delta \sigma_{a1}=\Delta \sigma_a$	6.27 MPa	6.27 MPa
	平均すべり量	$D_{a1}=M_{0a1}/\mu / S_{a1}$	281.6 cm	281.6 cm
	地震モーメント	$M_{0a1}=M_{0a} \times S_{a1}^{1.5} / (S_{a1}^{1.5} + S_{a2}^{1.5})$	1.45E+20 N・m	1.55E+20 N・m
ア ス ベ リ テ ィ 2	面積	$S_{a2}=(S_a \times (1/3))$	537 km ²	486 km ²
	等価半径	$r_{a2}=(S_{a2}/\pi)^{0.5}$	13.1 km	12.4 km
	応力降下量	$\Delta \sigma_{a2}=\Delta \sigma_a$	6.27 MPa	6.27 MPa
	平均すべり量	$D_{a2}=M_{0a2}/\mu / S_{a2}$	199.1 cm	199.1 cm
	地震モーメント	$M_{0a2}=M_{0a} \times S_{a2}^{1.5} / (S_{a1}^{1.5} + S_{a2}^{1.5})$	5.13E+19 N・m	4.64E+19 N・m
背 景 領 域	地震モーメント	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$	8.54E+19 N・m	8.50E+19 N・m
	面積	$S_b=S-S_a$	3011 km ²	2994 km ²
	平均すべり量	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	59.1 cm	59.1 cm
	実効応力	$\sigma_b=0.2 \Delta \sigma_a$	1.25 MPa	1.25 MPa
短周期レベル(参考)		$A=(A_a^2+A_b^2)^{0.5}$, $A_i=4\pi r_i \sigma_i \beta^2 (i=a,b)$	2.96E+19 N・m/s ²	2.98E+19 N・m/s ²
Q値		佐藤(2003)による	$154f^{0.91}$	$154f^{0.91}$
$f_{\max}$		推本(2002)による	13.5Hz	13.5Hz

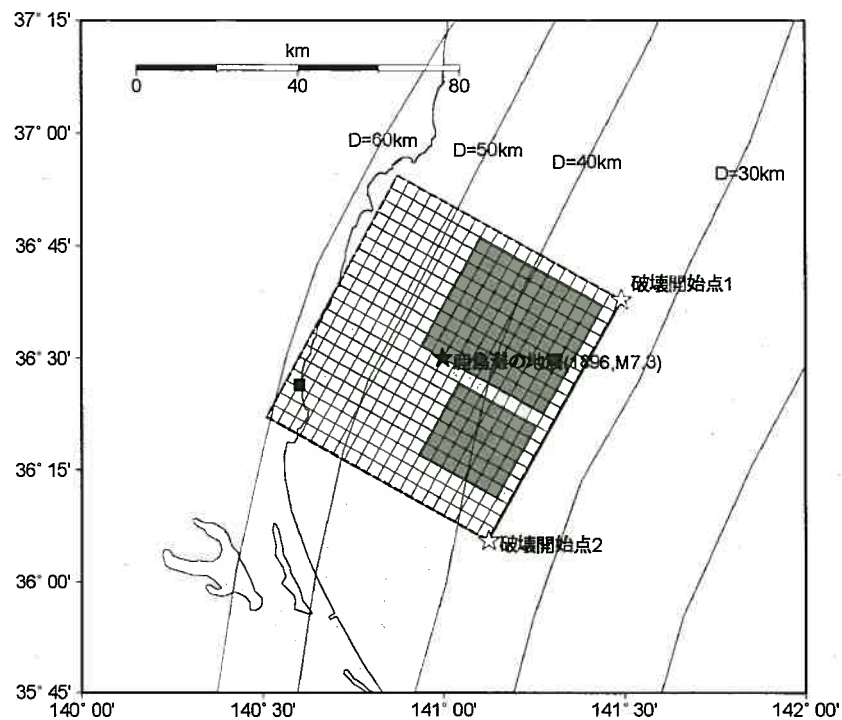
図 2.2-1(a) 地震動評価で用いた諸元（想定鹿島灘の地震：CASE4）

断層パラメータ		設定方法	設定結果	モデル化後の値
基準点座標 (断層北東端)		断層中心がサイト最短となるように設定	36°36' 18" N 141°15' 53" E	36°36'18"N 141°15'53"E
断層上端深さ		推本(2002)のプレート境界面により設定	35.2 km	35.2 km
気象庁マグニチュード		M_f : 垣見マップによる	7.5	7.5
地震モーメント		$M_0=10^{1.5M_f+9.2}$	2.82E+20 N・m	2.82E+20 N・m
モーメントマグニチュード		$M_w=(\log M_0-9.1)/1.5$	7.6	7.6
走向		推本(2002)のプレート境界面により設定	196°NE	196°NE
傾斜角		推本(2002)のプレート境界面により設定	23°	23°
平均応力降下量		$\Delta \sigma=(7/16) \times M_0 / R^3$	2.19 MPa	2.19 MPa
短周期レベル		$A=2.021 \times 10^{17} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	2.86E+19 N・m/s ²	2.86E+19 N・m/s ²
断層面積		$S=\pi R^2$	4621 km ²	4624 km ²
等価半径		$R=(7 \pi M_0 A)^{0.5} \times (S / S_a)^{0.25} \times \beta / 2$	38.4 km	38.4 km
断層長さ		$L=S^{0.5}$	68.0 km	68.0 km
断層幅		$W=S^{0.5}$	68.0 km	68.0 km
剛性率		佐藤(2003)による ($\beta=4\text{km/s}$, $\rho=3\text{g/cm}^3$)	4.80E+10 N/m ²	4.80E+10 N/m ²
平均すべり量		$D=M_0/(\mu S)$	127.1 cm	127.1 cm
破壊伝播速度		$V_R=0.72\beta$ (Geller, 1976)	2.88 km/sec	2.88 km/sec
破壊開始点		パラメータとする	-	-
破壊伝播形式		同心円状	-	-
ア ス ペ リ テ ィ	面積	$S_a=0.348S$	1610 km ²	1630 km ²
	等価半径	$r_a=(S_a/\pi)^{0.5}$	22.6 km	22.8 km
	応力降下量	$\Delta \sigma_a=\Delta \sigma \times (S/S_a)$	6.27 MPa	6.27 MPa
	平均すべり量	$D_a=2.0D$	254.1 cm	254.1 cm
	地震モーメント	$M_{0a}=\mu S_a D_a$	1.96E+20 N・m	1.99E+20 N・m
ア ス ペ リ テ ィ 1	面積	$S_{a1}=(S_a \times (2/3))$	1073 km ²	1144 km ²
	等価半径	$r_{a1}=(S_{a1}/\pi)^{0.5}$	18.5 km	19.1 km
	応力降下量	$\Delta \sigma_{a1}=\Delta \sigma_a$	6.27 MPa	6.27 MPa
	平均すべり量	$D_{a1}=M_{0a1}/\mu / S_{a1}$	281.6 cm	281.6 cm
	地震モーメント	$M_{0a1}=M_{0a} \times S_{a1}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$	1.45E+20 N・m	1.55E+20 N・m
ア ス ペ リ テ ィ 2	面積	$S_{a2}=(S_a \times (1/3))$	537 km ²	486 km ²
	等価半径	$r_{a2}=(S_{a2}/\pi)^{0.5}$	13.1 km	12.4 km
	応力降下量	$\Delta \sigma_{a2}=\Delta \sigma_a$	6.27 MPa	6.27 MPa
	平均すべり量	$D_{a2}=M_{0a2}/\mu / S_{a2}$	199.1 cm	199.1 cm
	地震モーメント	$M_{0a2}=M_{0a} \times S_{a2}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$	5.13E+19 N・m	4.64E+19 N・m
背 景 領 域	地震モーメント	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$	8.54E+19 N・m	8.50E+19 N・m
	面積	$S_b=S-S_a$	3011 km ²	2994 km ²
	平均すべり量	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	59.1 cm	59.1 cm
	実効応力	$\sigma_b=0.2 \Delta \sigma_a$	1.25 MPa	1.25 MPa
短周期レベル(参考)		$A=(A_a^2+A_b^2)^{0.5}$, $A_i=4\pi r_i \sigma_i \beta^2$ ($i=a, b$)	2.96E+19 N・m/s ²	2.98E+19 N・m/s ²
Q値		佐藤(2003)による	154 $f^{0.91}$	154 $f^{0.91}$
$f_{\max}$		推本(2002)による	13.5Hz	13.5Hz

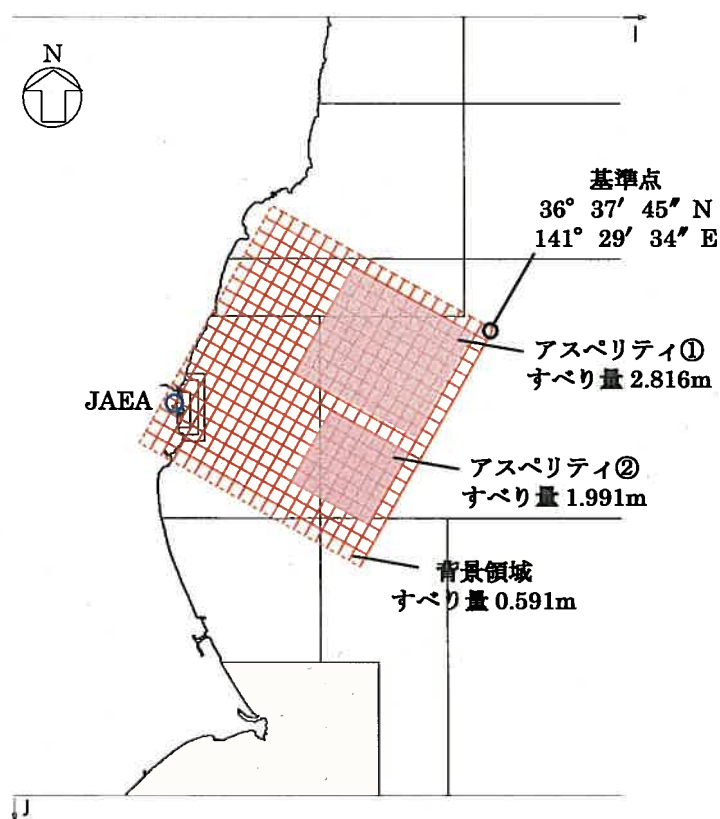
図 2.2-1(b) 地震動評価で用いた諸元 (想定鹿島灘の地震: CASE7)

表 2.2-1 断層諸元（想定鹿島灘の地震 アスぺリティモデル）

ケース名	断層長さ (km)	断層幅 (km)	上縁深さ (km)	すべり量 (m)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)	走向 (°)
CASE4	68	68	32	①2.816 ②1.991 ③0.591	22	90	209
CASE7	68	68	35.2	①2.816 ②1.991 ③0.591	23	90	196

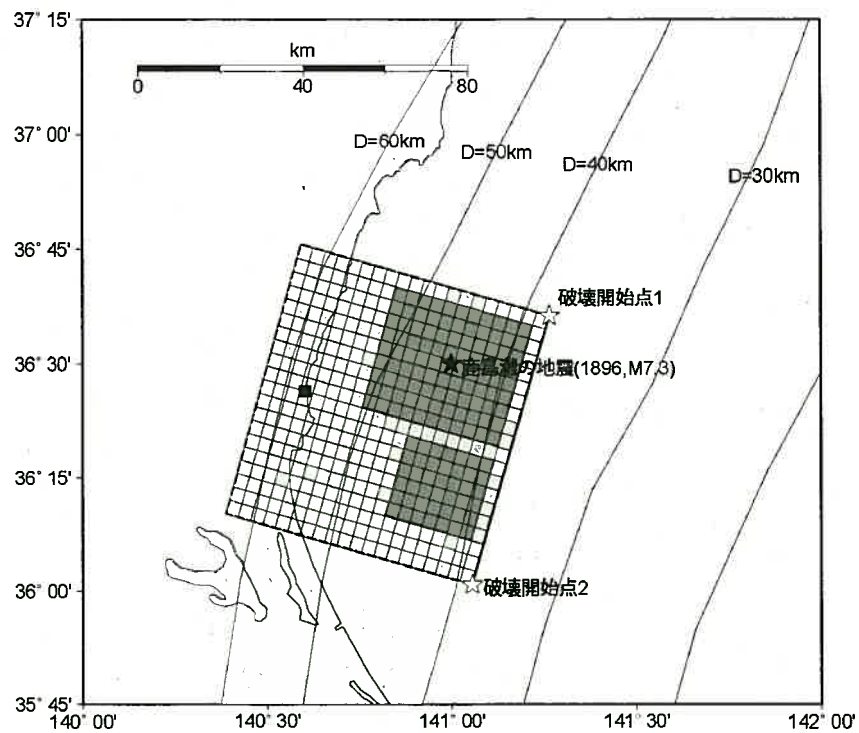


(1) 地震動評価用モデル

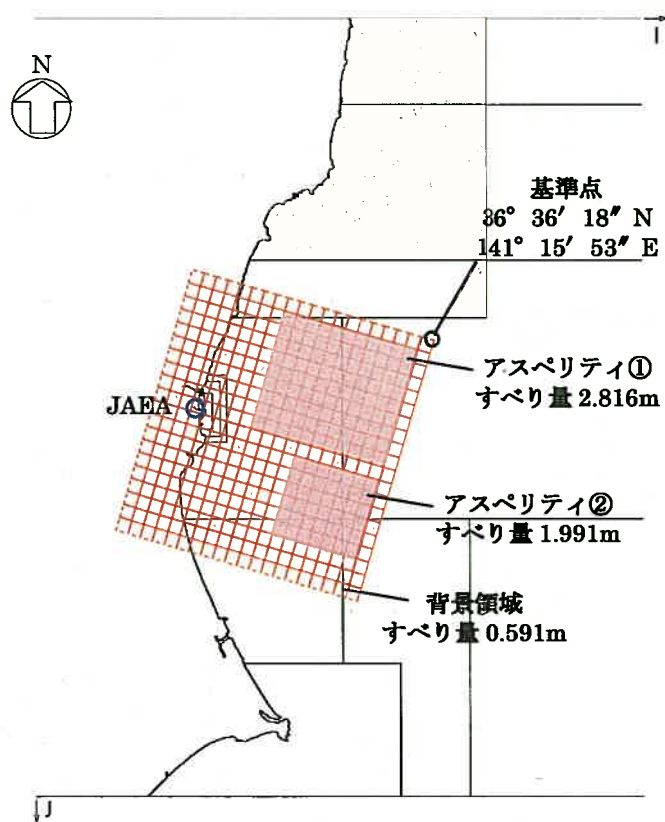


(2) 津波評価モデル

図 2.2-2(a) 断層位置 (想定鹿島灘の地震 アスベリティモデル CASE4)

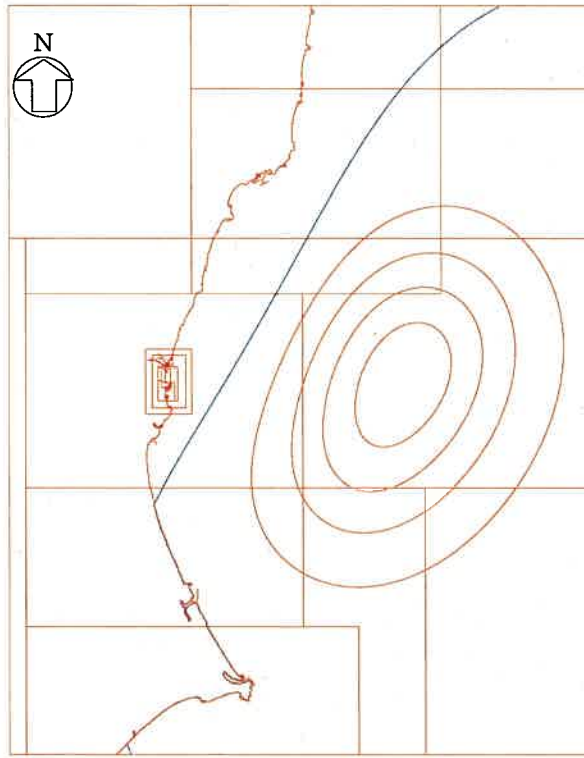


(1) 地震動評価用モデル

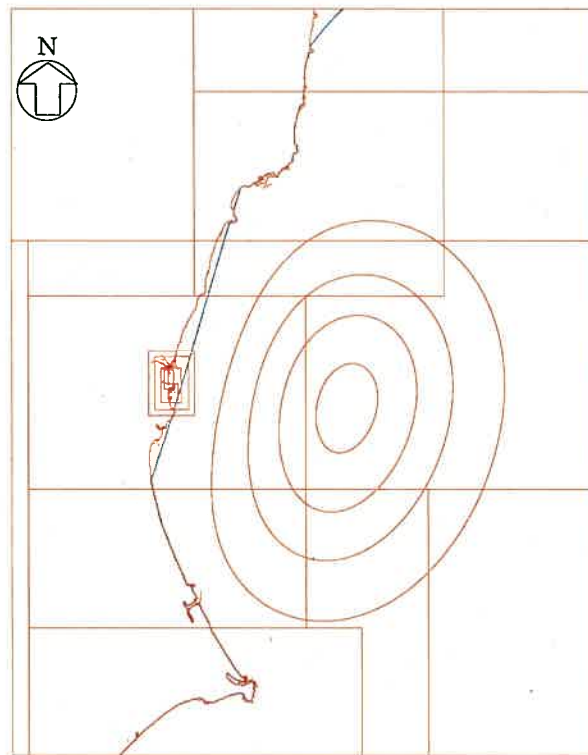


(2) 津波評価モデル

図 2.2-2(b) 断層位置 (想定鹿島灘の地震 アスペリティモデル CASE7)



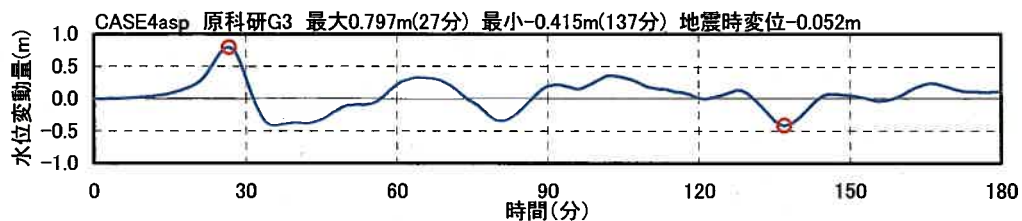
(1) CASE4



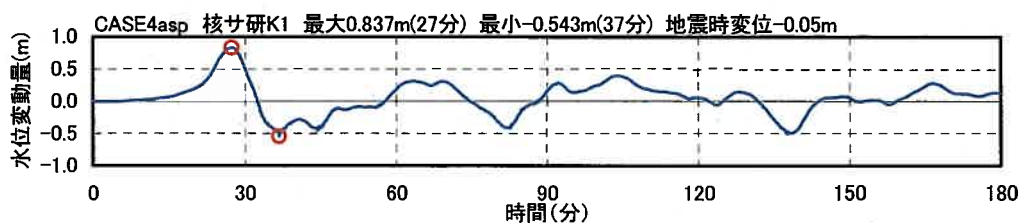
(2) CASE7

※コンター線は 10cm 間隔

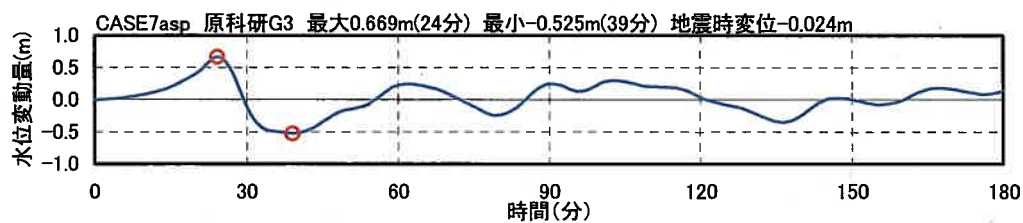
図 2.2-3 初期水位分布 (想定鹿島灘の地震 アスぺリティモデル)



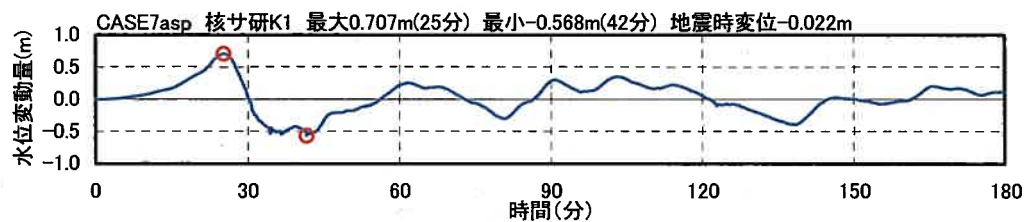
(1) CASE4 (原子力科学研究所前面)



(2) CASE4 (核燃料サイクル工学研究所前面)

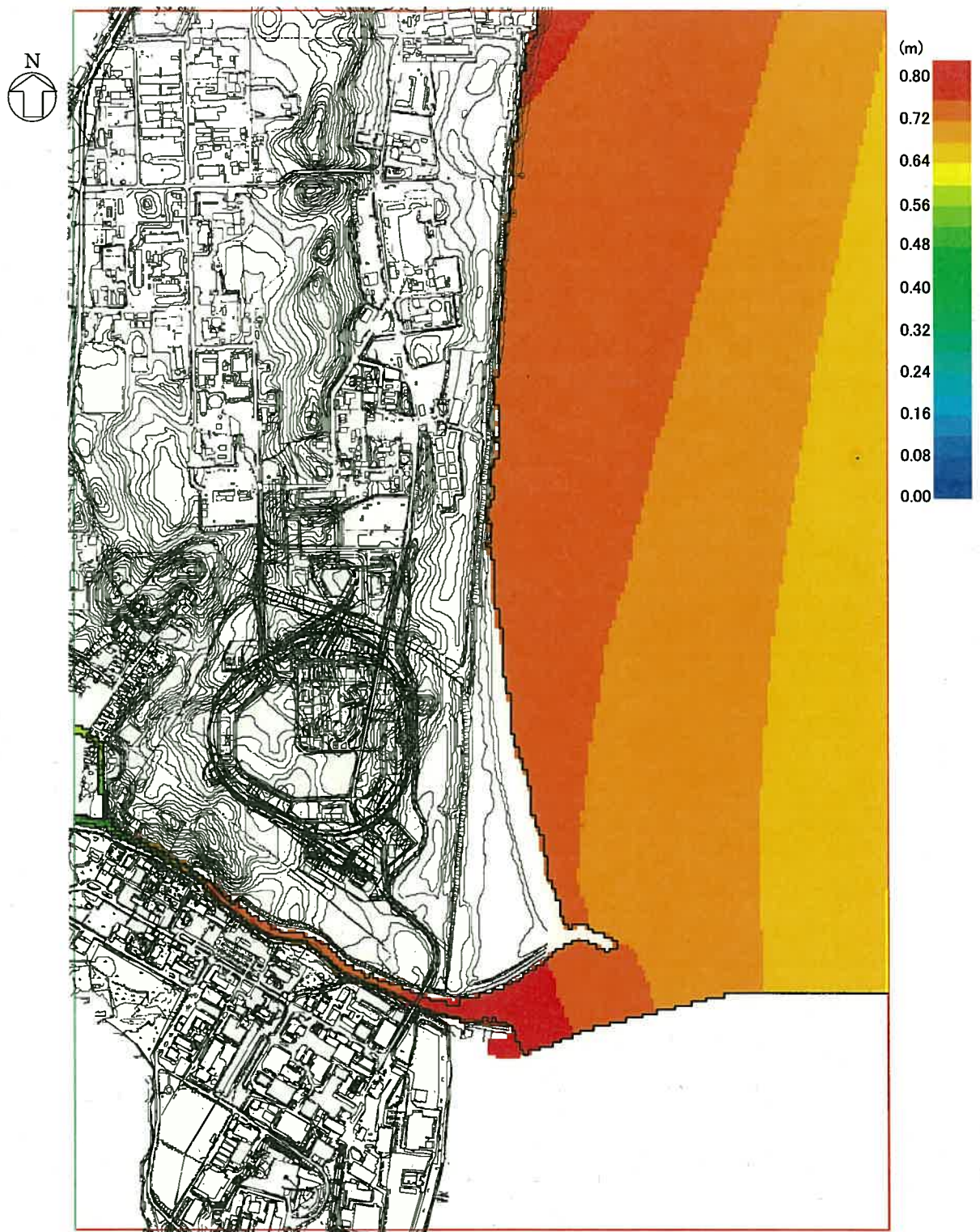


(3) CASE4 (原子力科学研究所前面)



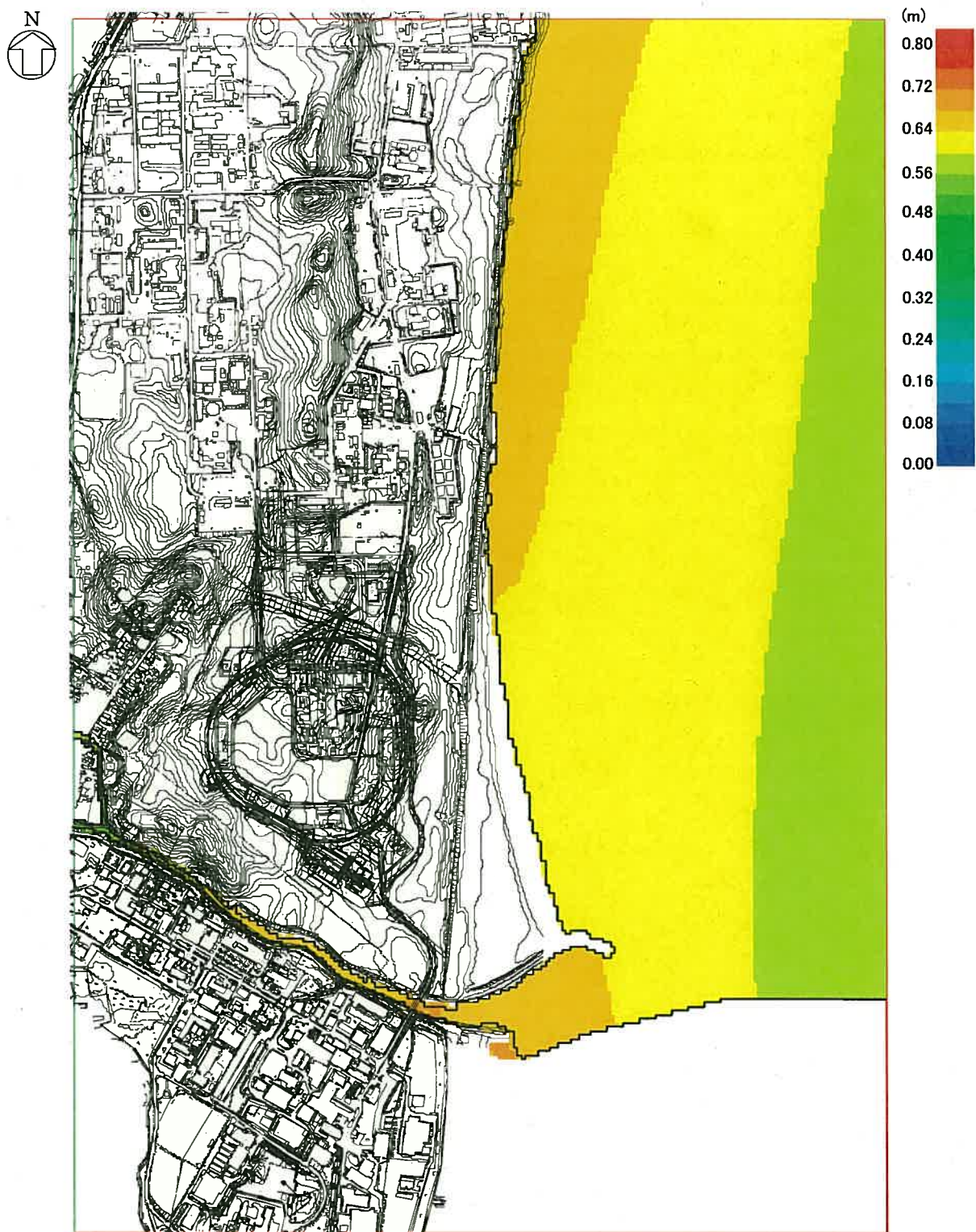
(4) CASE7 (核燃料サイクル工学研究所前面)

図 2.2-4 代表位置における水位の時刻歴波形 (想定鹿島灘の地震 アスペリティモデル)



※上昇量は朔望平均満潮位(T.P.+0.603m)からの高さである。

図 2.2-5(a) 最大水位上昇量分布 (想定鹿島灘の地震 アスぺリティモデル CASE4)



※上昇量は朔望平均満潮位(T.P.+0.603m)からの高さである。

図 2.2-5(b) 最大水位上昇量分布 (想定鹿島灘の地震 アスぺリティモデル CASE7)

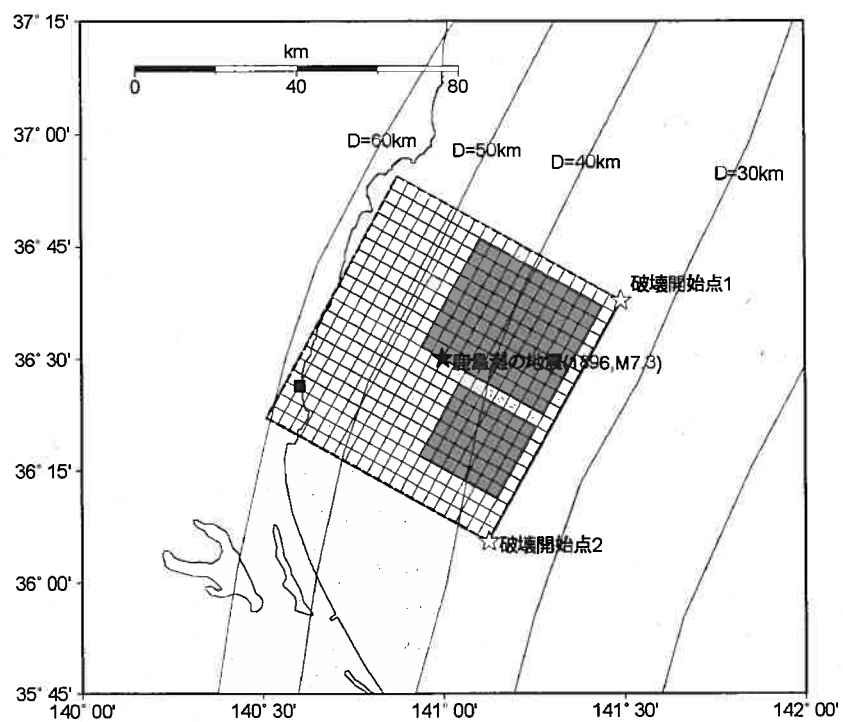
(2) 一様すべりモデルによる検討

想定鹿島灘の地震における一様すべりモデルに関する検討を行った。想定鹿島灘の地震はプレート境界の地震であるため、一様すべりモデル設定に際しては、すべり量を平均すべり量とした他は、アスペリティモデルの諸元をそのまま用いた。着目した CASE4 及び CASE7 の断層諸元を表 2.2-2、断層位置を図 2.2-6 に示す。

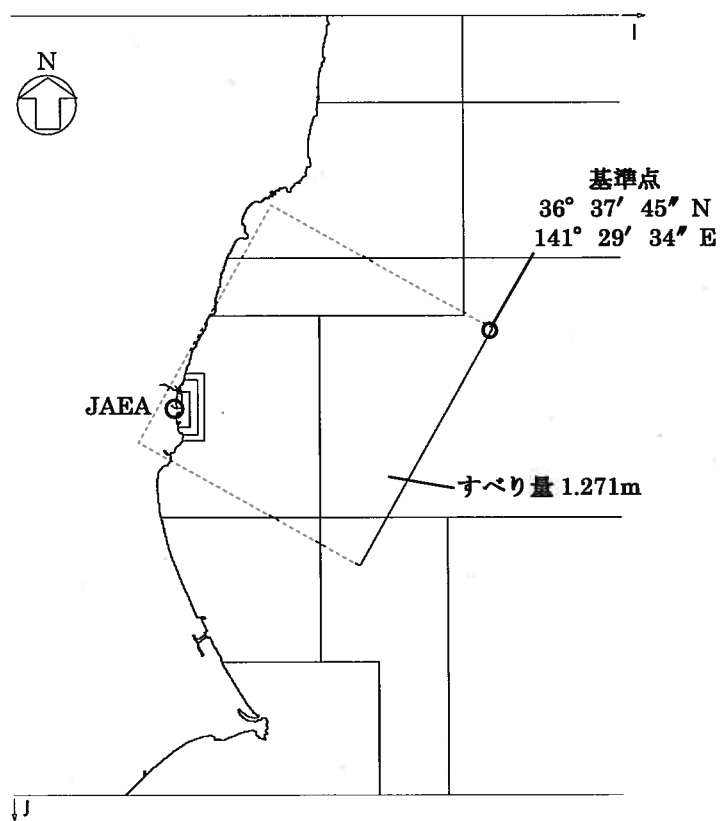
初期水位分布を図 2.2-7、対象地点の代表位置における水位の時刻歴波形を図 2.2-8、対象地点周辺の最大水位上昇量分布を図 2.2-9 に示す。最大水位上昇量は、原子力科学研究所前面の海岸線で CASE4 が約 0.53m、CASE7 が約 0.38m、核燃料サイクル工学研究所の真砂橋付近で CASE4 が約 0.57m、CASE7 が約 0.42m であり、アスペリティモデルより最大水位上昇量は小さい結果となった。

表 2.2・2 断層諸元 (想定鹿島灘の地震 一様すべりモデル)

ケース名	断層長さ (km)	断層幅 (km)	上縁深さ (km)	すべり量 (m)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)	走向 (°)
CASE4	68	68	32	1.271	22	90	209
CASE7	68	68	35.2	1.271	23	90	196

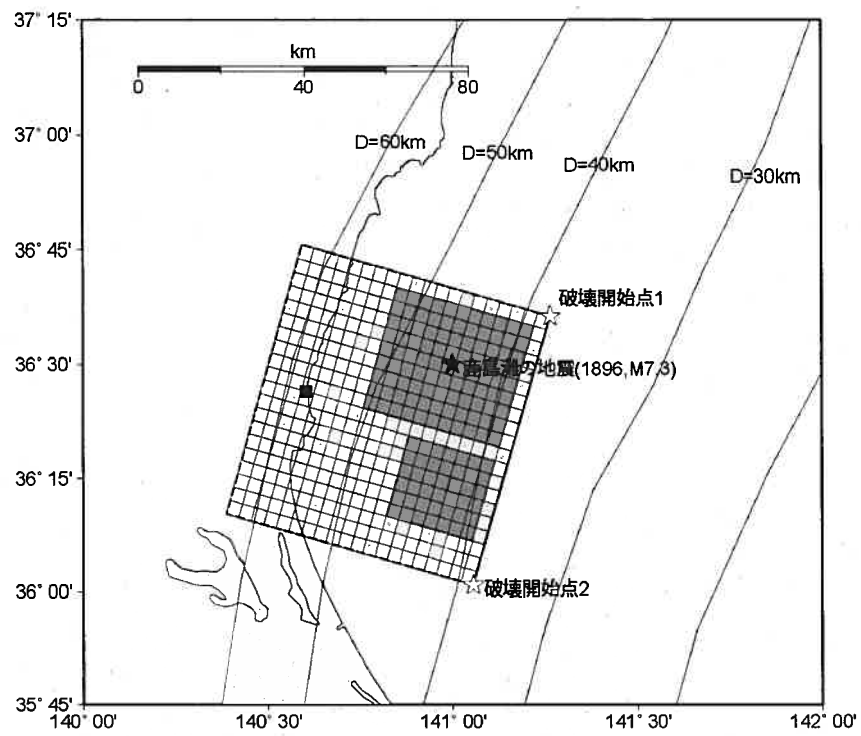


(1) 地震動評価用モデル (再掲)

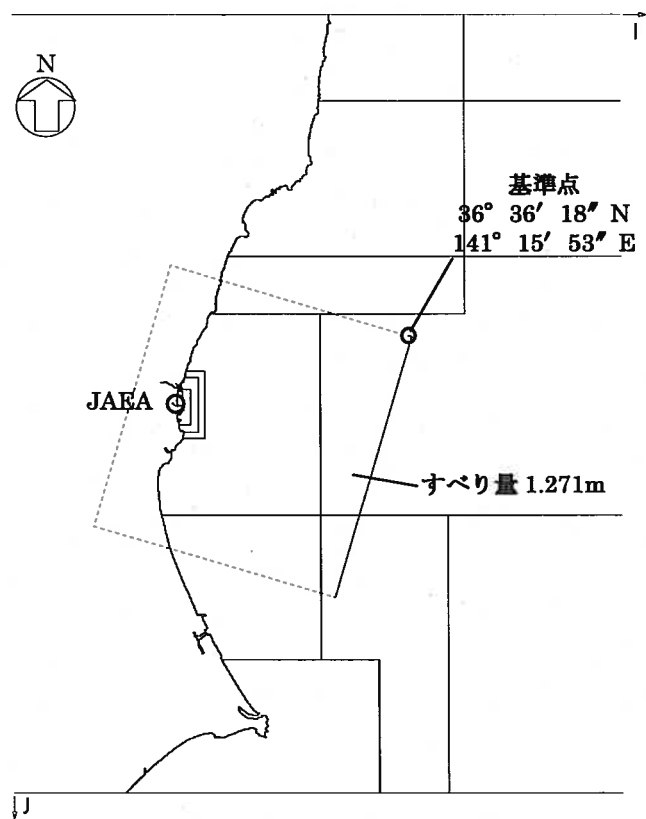


(2) 津波評価モデル

図 2.2-6(a) 断層位置 (想定鹿島灘の地震 一様すべりモデル CASE4)

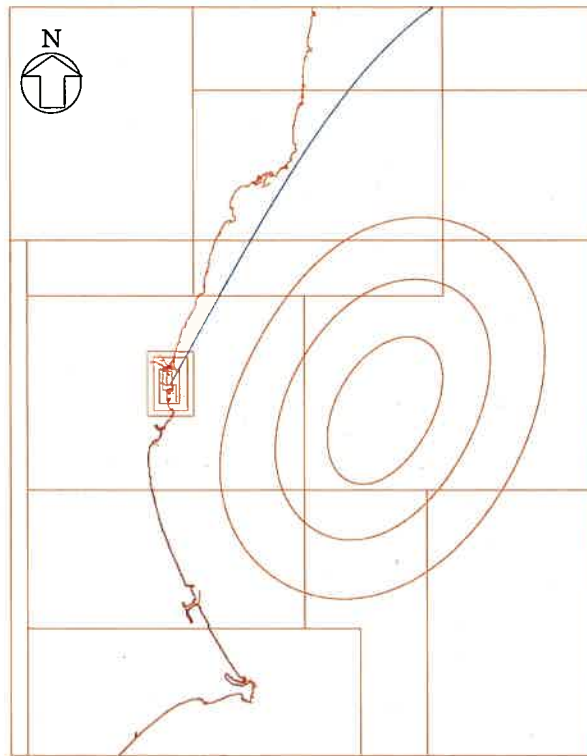


(1) 地震動評価用モデル (再掲)

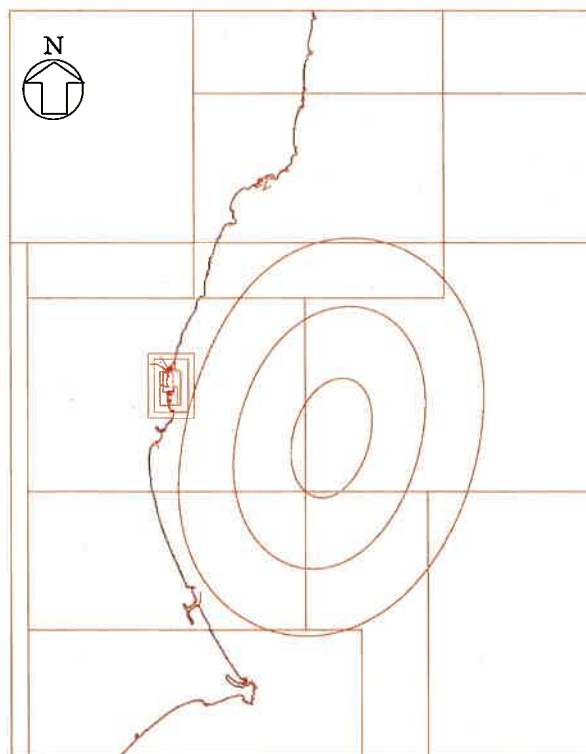


(2) 津波評価モデル

図 2.2-6(b) 断層位置 (想定鹿島灘の地震 一様すべりモデル CASE7)



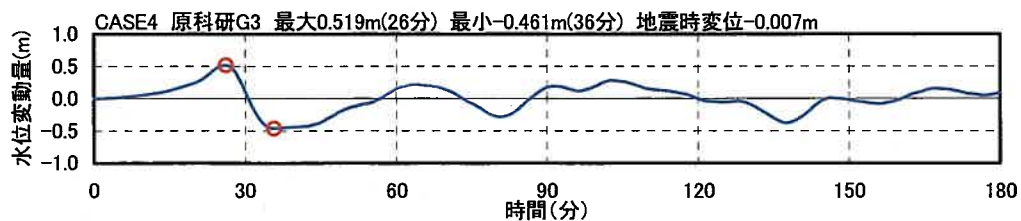
(1) CASE4



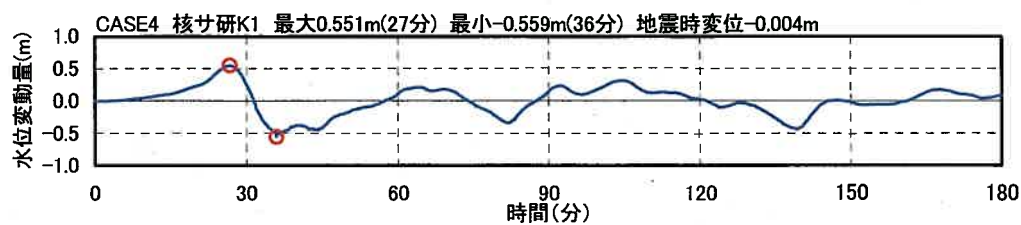
(2) CASE7

※コンター線は 10cm 間隔

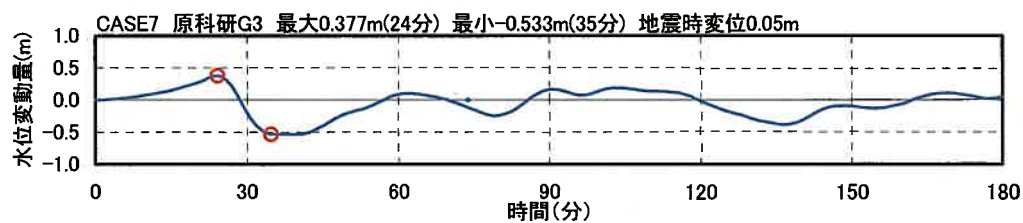
図 2.2・7 初期水位分布（想定鹿島灘の地震 一様すべりモデル）



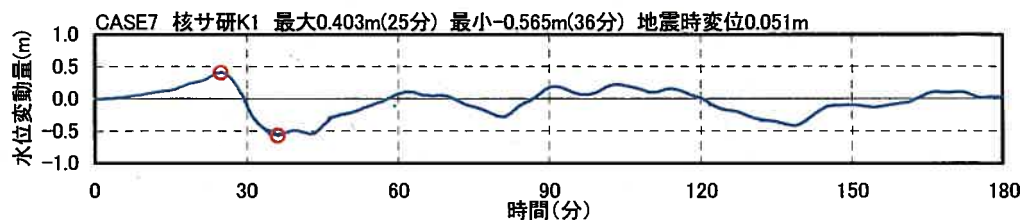
(1) CASE4 (原子力科学研究所前面)



(2) CASE4 (核燃料サイクル工学研究所前面)

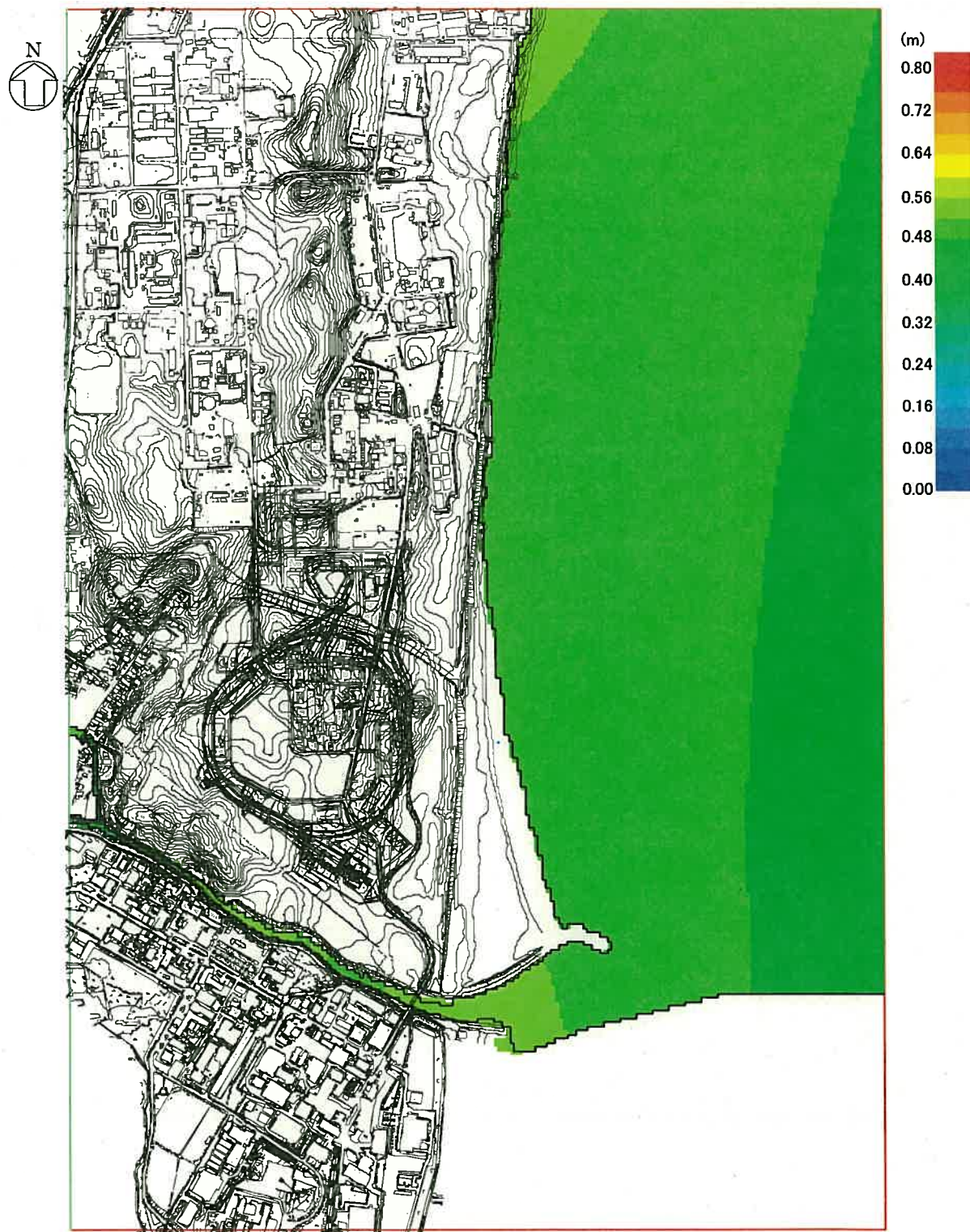


(3) CASE4 (原子力科学研究所前面)



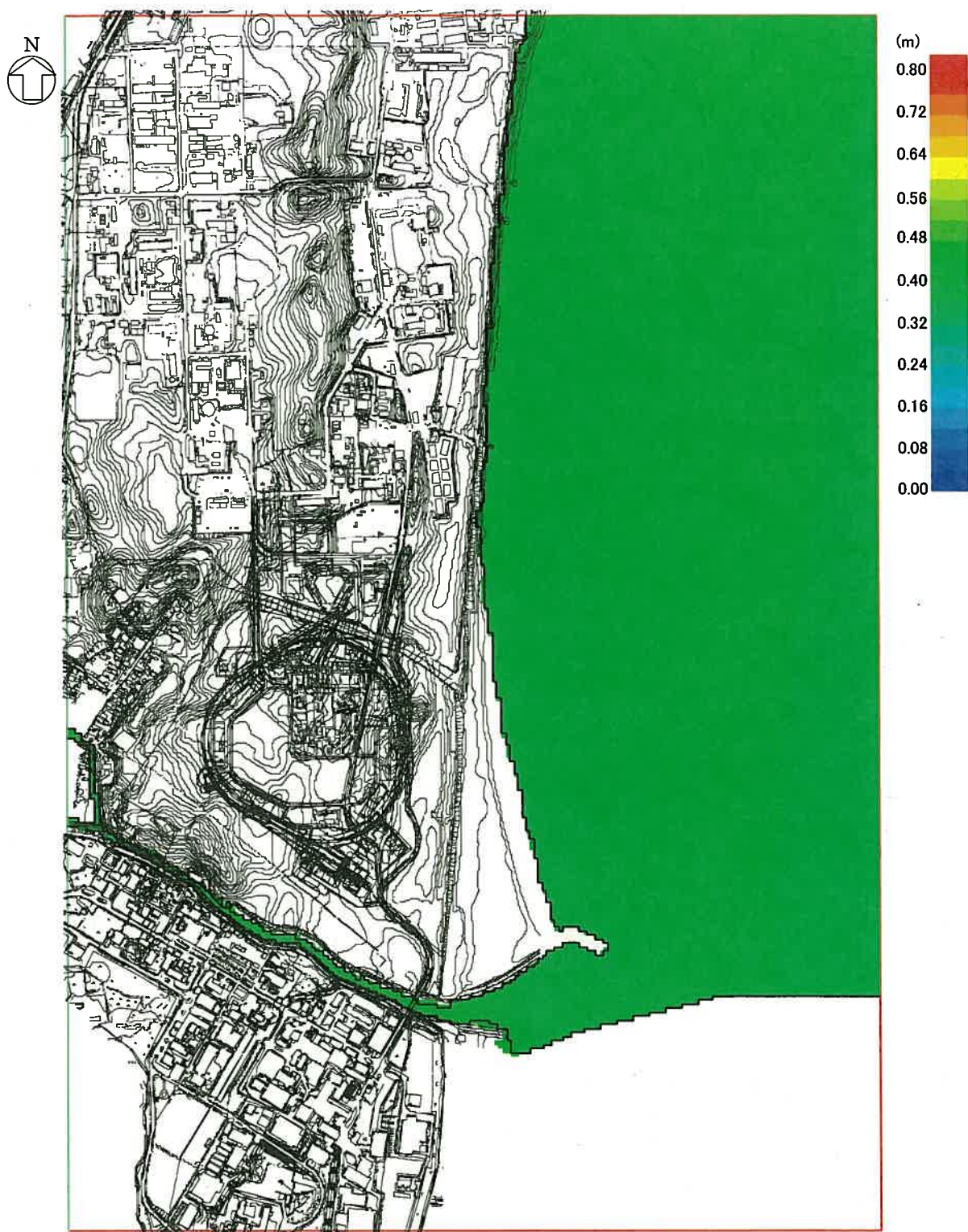
(4) CASE7 (核燃料サイクル工学研究所前面)

図 2.2-8 代表位置における水位の時刻歴波形 (想定鹿島灘の地震 一様すべりモデル)



※上昇量は朔望平均満潮位(T.P.+0.603m)からの高さである。

図 2.2-9(a) 最大水位上昇量分布 (想定鹿島灘の地震 一様すべりモデル CASE4)



※上昇量は朔望平均満潮位(T.P.+0.603m)からの高さである。

図 2.2-9(b) 最大水位上昇量分布 (想定鹿島灘の地震 一様すべりモデル CASE7)

2.3 海域 F3-F4b 断層に関する検討

海域 F3+F4b 断層に関する検討は、基本モデルとして設定された CASE1 と、CASE1 より地震モーメントが大きい CASE2 に着目して行う。

(1) アスペリティモデルによる検討

海域 F3+F4b 断層におけるアスペリティモデルに関する検討を行った。着目した CASE1 及び CASE2 の地震動評価で用いた諸元を図 2.3-1、津波解析で用いた断層諸元を表 2.3-1、断層位置を図 2.3-2 に示す。

初期水位分布を図 2.3-3、対象地点の代表位置における水位の時刻歴波形を図 2.3-4、対象地点周辺の最大水位上昇量分布を図 2.3-5 に示す。最大水位上昇量は、原子力科学研究所前面の海岸線で CASE1 が約 0.02m、CASE2 が約 0.03m、核燃料サイクル工学研究所の真砂橋付近で CASE1 が約 0.03m、CASE2 が約 0.02m で、両ケース共に僅かな水位変動量であった。

断層パラメータ		設定方法	単位	設定値
地表トレース (北端)	北緯 (世界測地系)	活断層調査結果による	-	36° 20' 21"
	東経 (世界測地系)	活断層調査結果による	-	140° 39' 35"
地表トレース (南端)	北緯 (世界測地系)	活断層調査結果による	-	36° 12' 16"
	東経 (世界測地系)	活断層調査結果による	-	140° 35' 47"
断層面基準点 (北端)	北緯 (世界測地系)	地表トレースより傾斜角を考慮して計算	-	36° 20' 47"
	東経 (世界測地系)	地表トレースより傾斜角を考慮して計算	-	140° 38' 8"
走向		活断層調査結果による	-	200.8° NE
傾斜角		活断層調査結果による	-	60°
ずれの種類		活断層調査結果による	-	逆断層
断層上端深さ		微小地震の発生及び地下構造より設定	km	4.0
断層下端深さ		微小地震の発生及び地下構造より設定	km	16.0
断層幅		W :地震発生層と傾斜角より設定	km	14.0
断層長さ		L :活断層調査結果による	km	16.0
断層面積		$S=LW$	km ²	224.0
等価半径		$R=(S/\pi)^{0.5}$	km	8.4
地震モーメント		$M_0=\{S/(2.23\times 10^{-15})\}^{1.5}/1.0e7$ (Somerville <i>et al.</i> , 1999)	N・m	3.18E+18
気象庁マグニチュード		$M_J=(\log L+2.9)/0.6$ (松田,1975)	-	6.8
		$M_J=(\log M_0-10.72)/1.17$ (武村,1990)	-	6.7
モーメントマグニチュード		$M_w=(\log M_0-9.1)/1.5$	-	6.3
せん断波速度		β :地下構造より設定	km/s	3.6
密度		ρ :地下構造より設定	g/cm ³	2.7
剛性率		$\mu=\rho\beta^2$	N/m ²	3.50E+10
平均すべり量		$D=M_0/(\mu S)$	cm	40.6
平均応力降下量		$\Delta\sigma=(7/16)(M_0/R^3)$	MPa	2.3
短周期レベル(内陸地震の平均)		$A=2.46\cdot 10^{10}\cdot(M_0\cdot 1.0e7)^{1/3}$ (壇・他, 2001)	N・m/s ²	7.80E+18
破壊伝播速度		$V_R=0.72\beta$ (Geller, 1976)	km/s	2.59
破壊開始点		パラメータとする	-	-
破壊伝播形式		同心円状	-	-
アスペリティ	等価半径	$r_a=(7\pi M_0\beta^2)/(4AR)$	km	3.4
	面積	$S_a=\pi r_a^2$	km ²	37.3
	平均すべり量	$D_a=2D$	cm	81.2
	地震モーメント	$M_{0a}=\mu S_a D_a$	N・m	1.06E+18
	応力降下量	$\Delta\sigma_a=(7/16)M_0/(r_a^2 R)$	MPa	13.89
背景領域	面積	$S_b=S-S_a$	km ²	186.7
	地震モーメント	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$	N・m	2.12E+18
	平均すべり量	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	cm	32.5
	実効応力	$\sigma_b=0.2\Delta\sigma_a$	MPa	2.78
Q 値		地震調査研究推進本部の強震動評価資料より	-	110 ^{0.69}
f_{max}		地震調査研究推進本部の強震動評価資料より($m=4.2$)	Hz	6.0

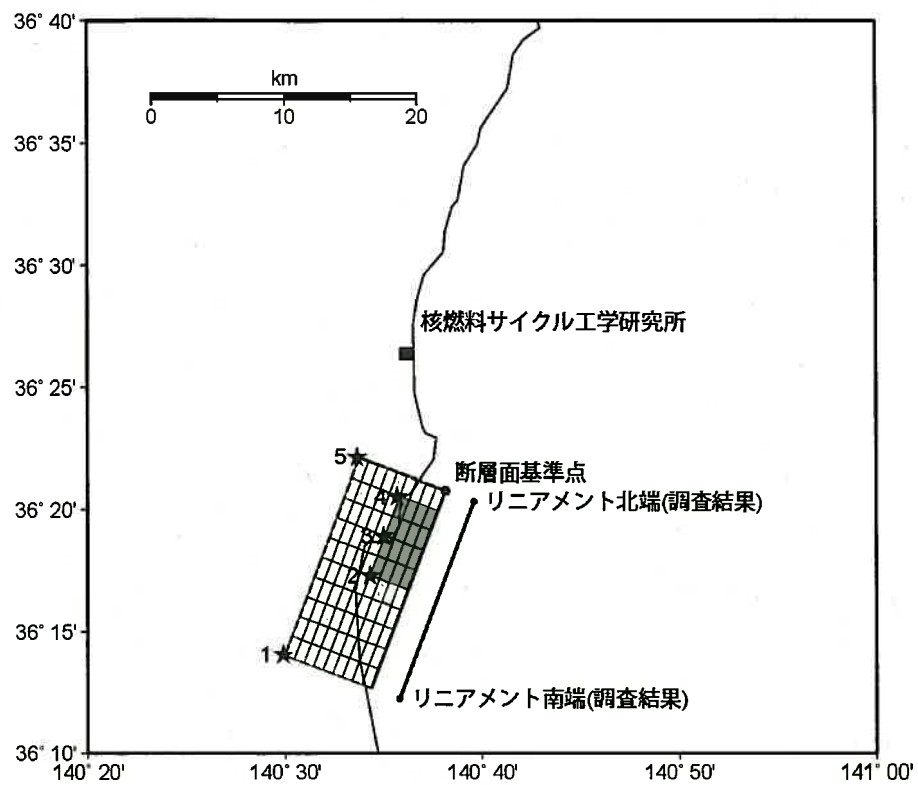
図 2.3-1(a) 地震動評価で用いた諸元 (海域 F3-F4b 断層 : CASE1)

断層パラメータ		設定方法	単位	設定値
地表 トレース (北端)	北緯 (世界測地系)	活断層調査結果を延長	-	36° 20' 36"
	東経 (世界測地系)	活断層調査結果を延長	-	140° 39' 42"
地表 トレース (南端)	北緯 (世界測地系)	活断層調査結果を延長	-	36° 12' 0"
	東経 (世界測地系)	活断層調査結果を延長	-	140° 35' 40"
断層面 基準点 (北端)	北緯 (世界測地系)	地表トレースより傾斜角を考慮して計算	-	36° 21' 22"
	東経 (世界測地系)	地表トレースより傾斜角を考慮して計算	-	140° 37' 12"
走向		活断層調査結果による	-	200.8° NE
傾斜角		不確かさを考慮して設定	-	45°
ずれの種類		活断層調査結果による	-	逆断層
断層上端深さ		微小地震の発生及び地下構造より設定	km	4.0
断層下端深さ		微小地震の発生及び地下構造より設定	km	16.0
断層幅		W : 地震発生層と傾斜角より設定	km	17.0
断層長さ		$L=W$	km	17.0
断層面積		$S=LW$	km ²	289.0
等価半径		$R=(S/\pi)^{0.5}$	km	9.6
地震モーメント		$M_0=\{S/(2.23\times 10^{-15})\}^{1.5}/1.0e7$ (Somerville <i>et al.</i> , 1999)	N・m	4.67E+18
気象庁マグニチュード	$M_j=(\log L+2.9)/0.6$ (松田,1975)		-	6.9
	$M_j=(\log M_0-10.72)/1.17$ (武村,1990)		-	6.8
モーメントマグニチュード		$M_w=(\log M_0-9.1)/1.5$	-	6.4
せん断波速度		β : 地下構造より設定	km/s	3.6
密度		ρ : 地下構造より設定	g/cm ³	2.7
剛性率		$\mu=\rho\beta^2$	N/m ²	3.50E+10
平均すべり量		$D=M_0/(\mu S)$	cm	46.1
平均応力降下量		$\Delta\sigma=(7/16)(M_0/R^3)$	MPa	2.3
短周期レベル(内陸地震の平均)		$A=2.46\cdot 10^{10}\cdot (M_0\cdot 1.0e7)^{1/3}$ (壇・他, 2001)	N・m/s ²	8.86E+18
破壊伝播速度		$V_R=0.72\beta$ (Geller, 1976)	km/s	2.59
破壊開始点		パラメータとする	-	-
破壊伝播形式		同心円状	-	-
ア ス ベ リ テ ィ	等価半径	$r_a=(7\pi M_0\beta^2)/(4AR)$	km	3.9
	面積	$S_a=\pi r_a^2$	km ²	48.1
	平均すべり量	$D_a=2D$	cm	92.3
	地震モーメント	$M_{0a}=\mu S_a D_a$	N・m	1.55E+18
	応力降下量	$\Delta\sigma_a=(7/16)M_0/(r_a^2 R)$	MPa	13.89
背 景 領 域	面積	$S_b=S-S_a$	km ²	240.9
	地震モーメント	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$	N・m	3.11E+18
	平均すべり量	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	cm	36.9
	実効応力	$\sigma_b=0.2\Delta\sigma_a$	MPa	2.78
Q 値		地震調査研究推進本部の強震動評価資料より	-	$110f^{0.69}$
f_{max}		地震調査研究推進本部の強震動評価資料より($m=4.2$)	Hz	6.0

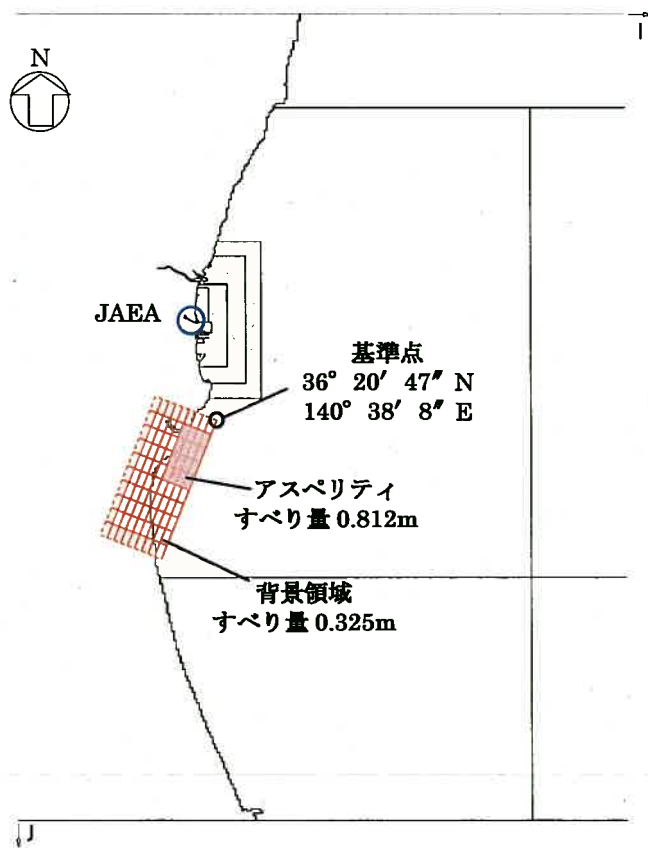
図 2.3-1(b) 地震動評価で用いた諸元 (海域 F3-F4b 断層 : CASE2)

表 2.3-1 断層諸元 (海域 F3-F4b 断層 アスぺリティモデル)

ケース名	断層長さ (km)	断層幅 (km)	上縁深さ (km)	すべり量 (m)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)	走向 (°)
CASE1	16	14	4	0.325 0.812	60	90	200.8
CASE2	17	17	4	0.369 0.923	45	90	200.8

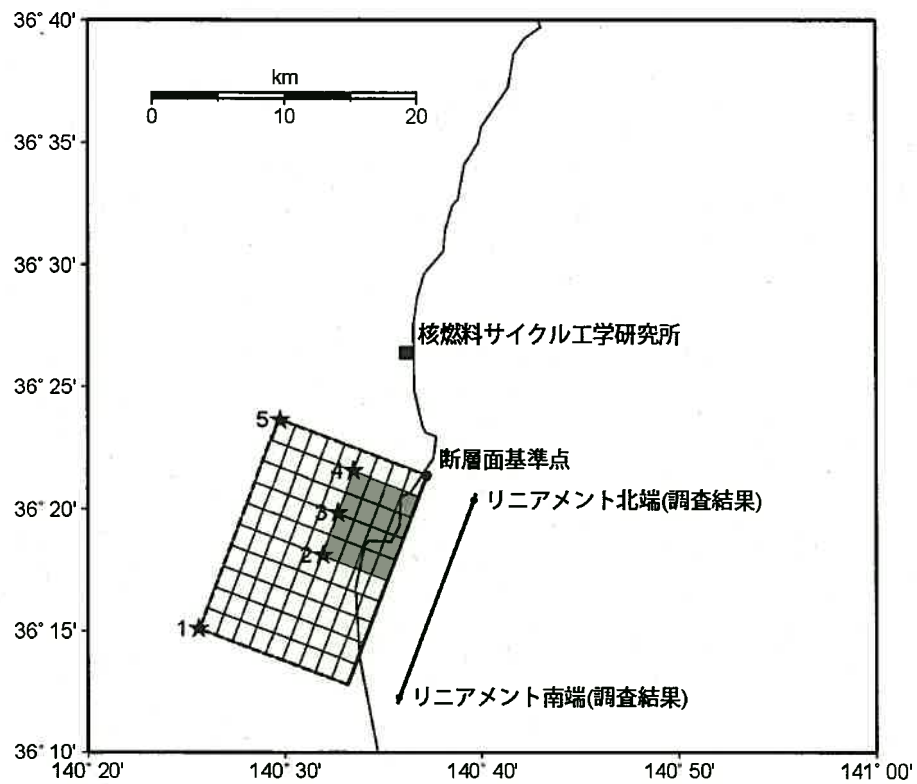


(1) 地震動評価用モデル

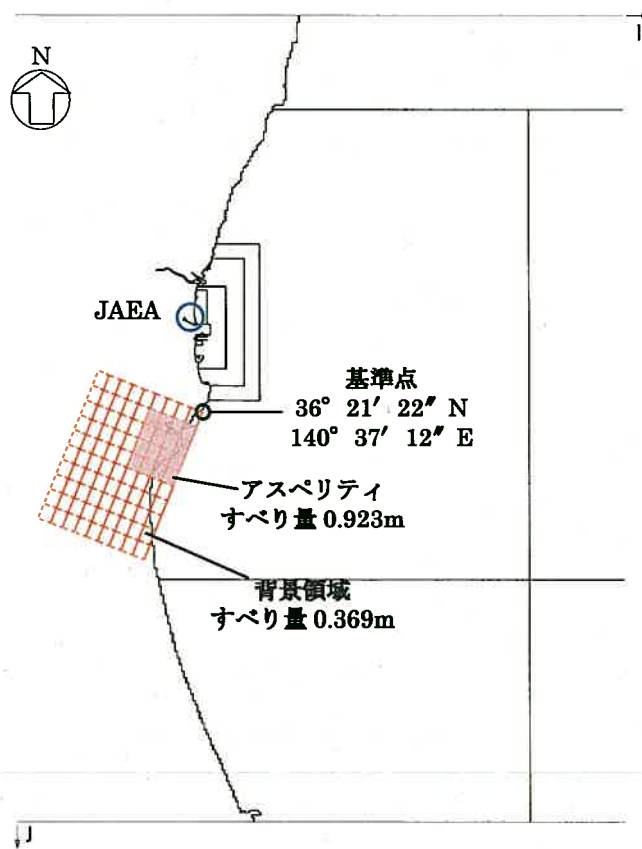


(2) 津波評価モデル

図 2.3-2(a) 断層位置 (海域 F3-F4b 断層 アスぺリティモデル CASE1)

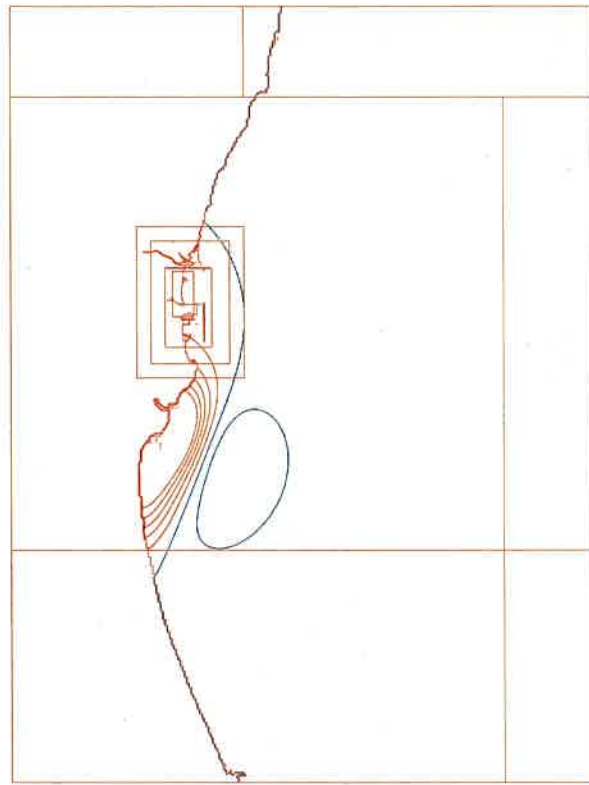


(1) 地震動評価用モデル



(2) 津波評価モデル

図 2.3-2(b) 断層位置 (海域 F3-F4b 断層 アスぺリティモデル CASE2)



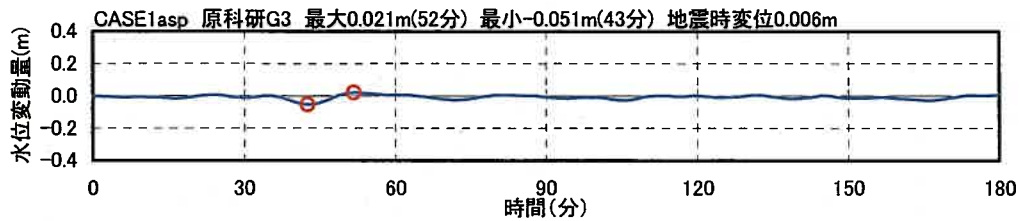
(1) CASE1



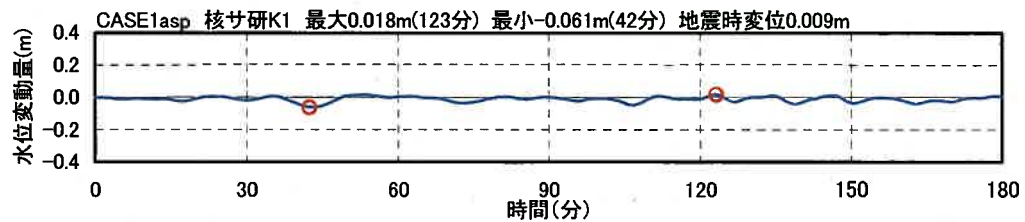
(2) CASE2

※コンター線は 2cm 間隔

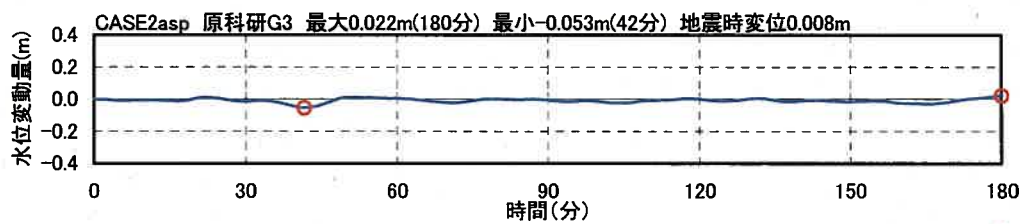
図 2.3-3 初期水位分布（海域 F3・F4b 断層 アスペリティモデル）



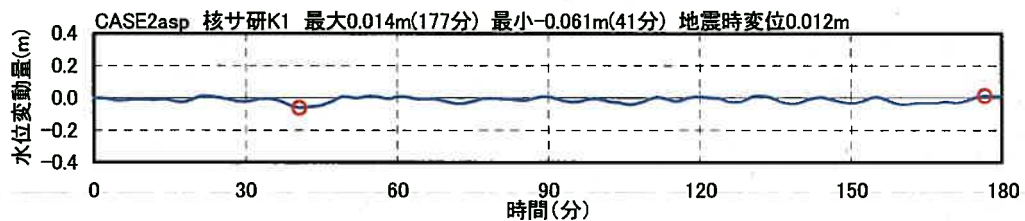
(1) CASE1 (原子力科学研究所前面)



(2) CASE1 (核燃料サイクル工学研究所前面)

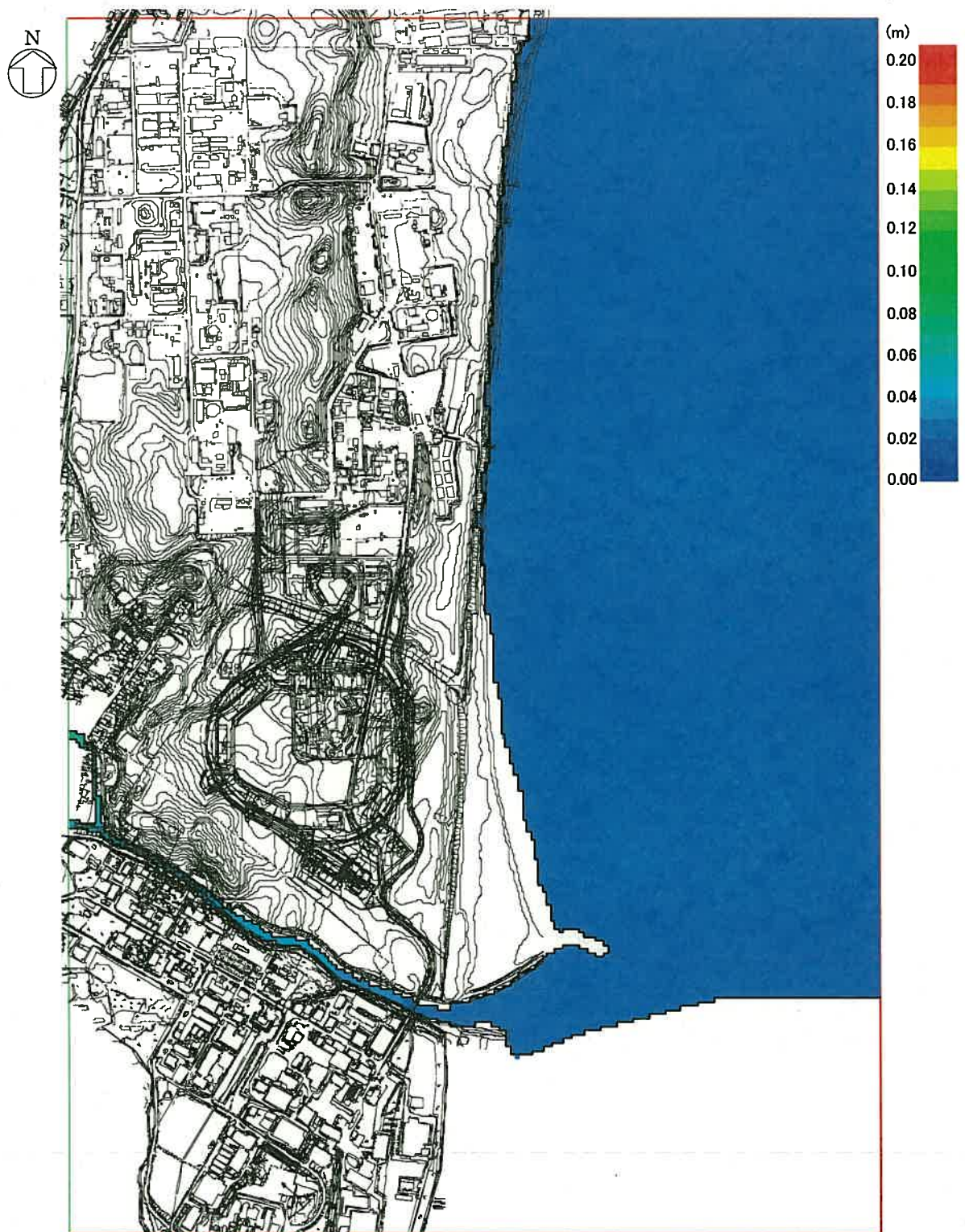


(3) CASE2 (原子力科学研究所前面)



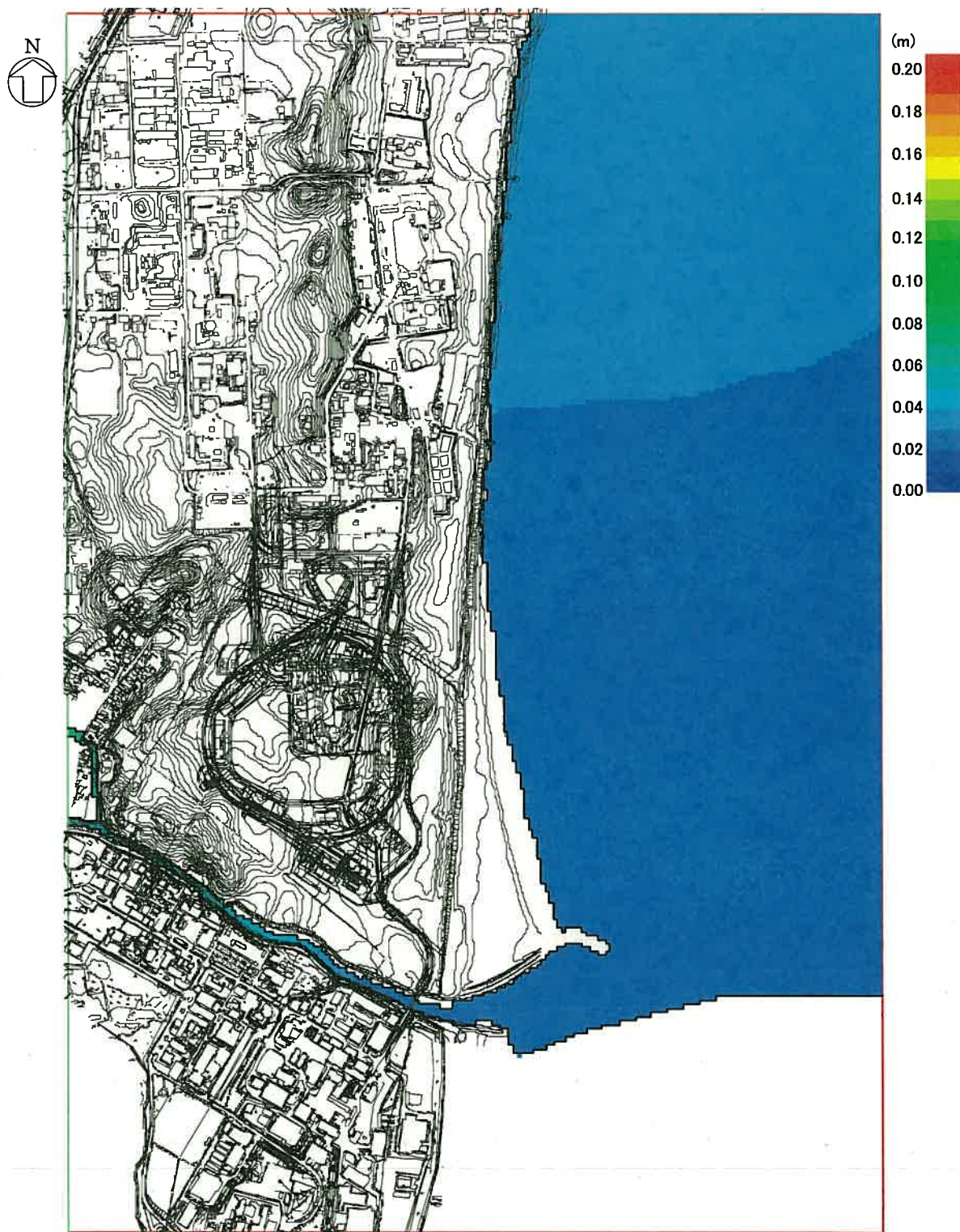
(4) CASE2 (核燃料サイクル工学研究所前面)

図 2.3-4 代表位置における水位の時刻歴波形 (海域 F3-F4b 断層 アスぺリティモデル)



※上昇量は朔望平均満潮位(T.P.+0.603m)からの高さである。

図 2.3-5(a) 最大水位上昇量分布 (海域 F3-F4b 断層 アスぺリティモデル CASE1)



※上昇量は朔望平均満潮位(T.P.+0.603m)からの高さである。

図 2.3-5(b) 最大水位上昇量分布 (海域 F3-F4b 断層 アスぺリティモデル CASE2)

(2) 一様すべりモデルによる検討

海域 F3+F4b 断層における一様すべりモデルに関する検討を行った。

海域 F3+F4b 断層は海域活断層であるため、一様すべりモデルにおける断層上縁深さ及び剛性率は「津波評価技術」にならい、それぞれ 0km、 $3.5 \times 10^{10}(\text{N/m}^2)$ とした。基準点は、上縁深さを 0km としたため、図 2.3-1 に示す地表トレース（北端）位置とした。断層幅は、アスペリティモデルが断層下端深さ 16km まで地震発生層の厚さとして設定しているため、一様すべりモデルでも、地震発生層厚さは 16km であるとして、傾斜角に応じて設定した。すべり量は、地震モーメントがアスペリティモデルと同一であるとして、下式によって求めた。

$$D = M_0 / \mu L W$$

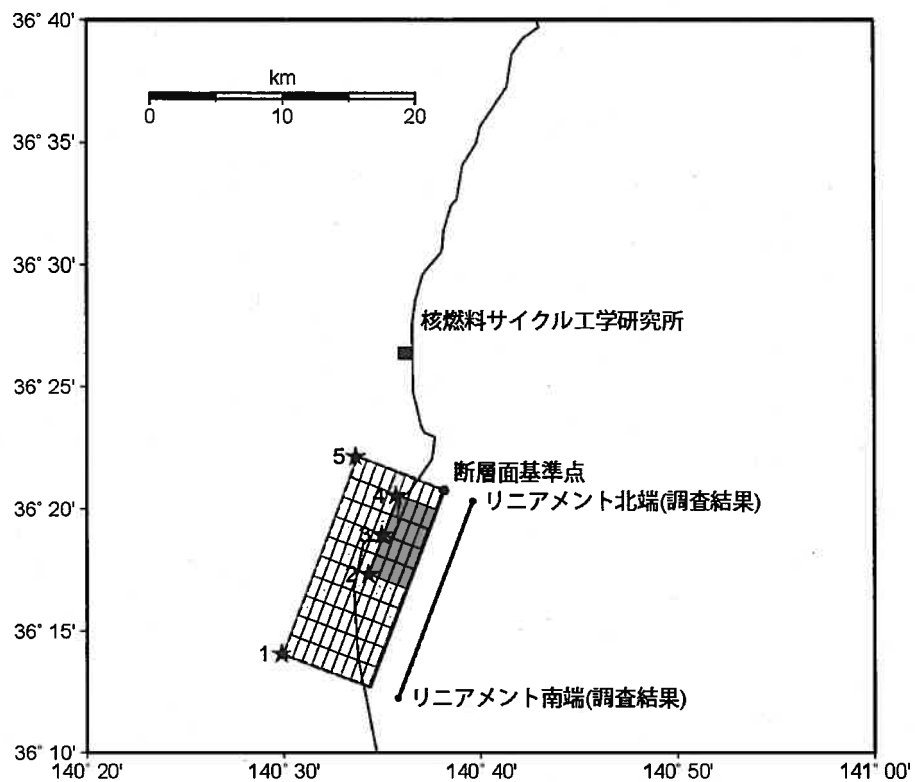
（ただし、 D ：すべり量、 M_0 ：地震モーメント、 μ ：剛性率、 L ：断層長さ、 W ：断層幅である。）

着目した CASE1 及び CASE2 の断層諸元を表 2.3-2、断層位置を図 2.3-6 に示す。

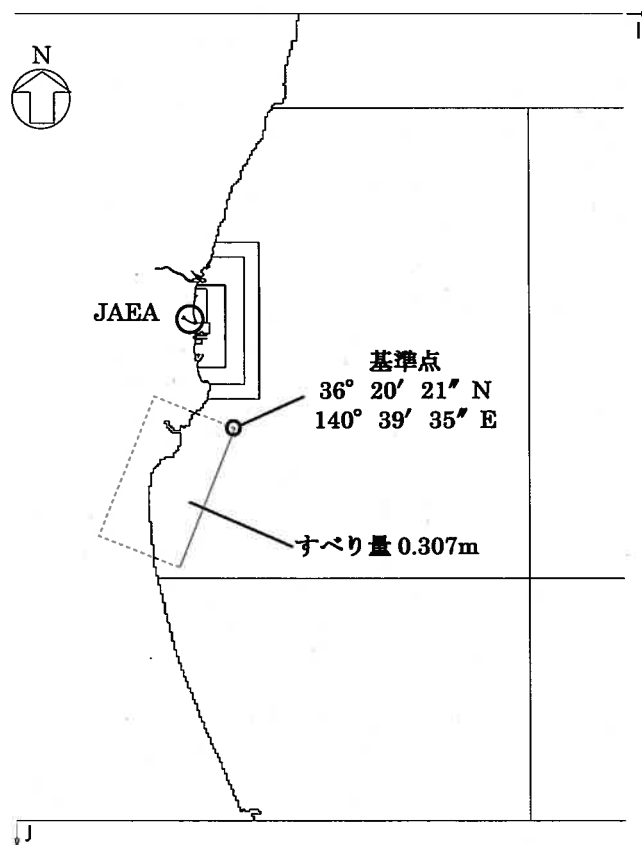
初期水位分布を図 2.3-7、対象地点の代表位置における水位の時刻歴波形を図 2.3-8、対象地点周辺の最大水位上昇量分布を図 2.3-9 に示す。最大水位上昇量は、原子力科学研究所前面の海岸線で CASE1 が約 0.10m、CASE2 が約 0.10m、核燃料サイクル工学研究所の真砂橋付近で CASE1 が約 0.08m、CASE7 が約 0.08m とアスペリティモデルの結果と比較すると僅かに大きい水位変動量となった。

表 2.3-2 断層諸元 (海域 F3-F4b 断層 一様すべりモデル)

ケース名	断層長さ (km)	断層幅 (km)	上縁深さ (km)	すべり量 (m)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)	走向 (°)
CASE1	16	18.48	0	0.307	60	90	200.8
CASE2	17	22.63	0	0.347	45	90	200.8

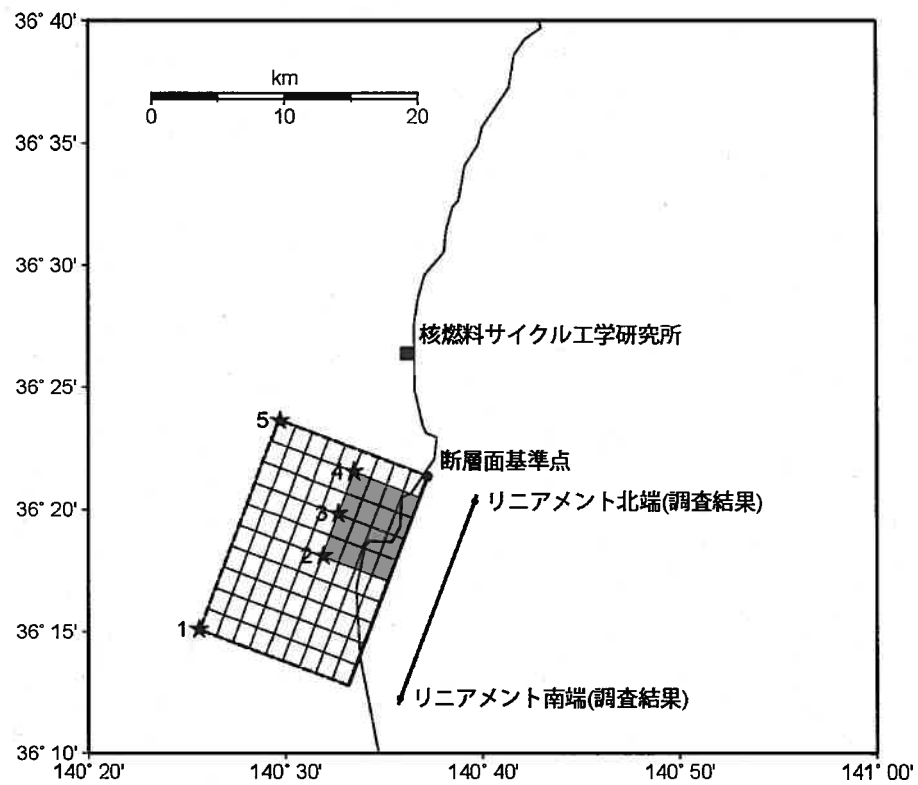


(1) 地震動評価用モデル (再掲)

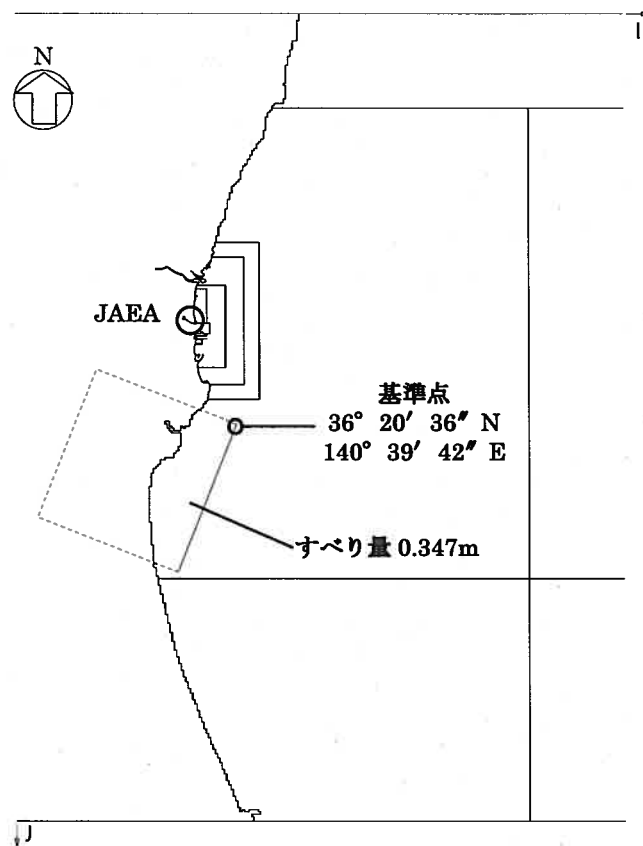


(2) 津波評価モデル

図 2.3-6(a) 断層位置 (海域 F3-F4b 断層 一様すべりモデル CASE1)

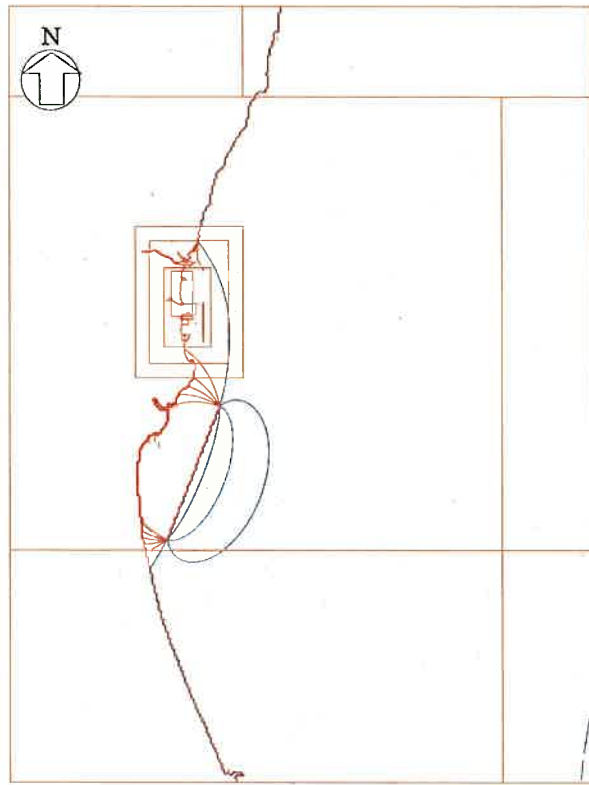


(1) 地震動評価用モデル (再掲)

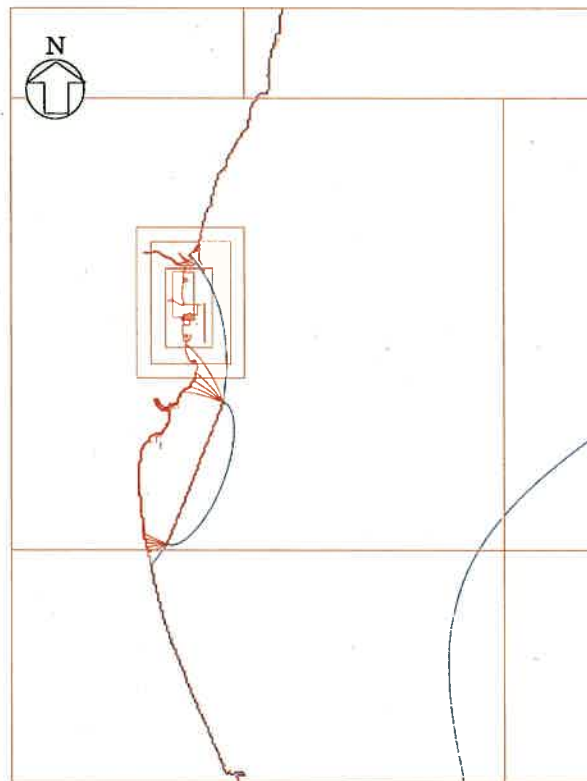


(2) 津波評価モデル

図 2.3-6(b) 断層位置 (海域 F3-F4b 断層 一様すべりモデル CASE2)



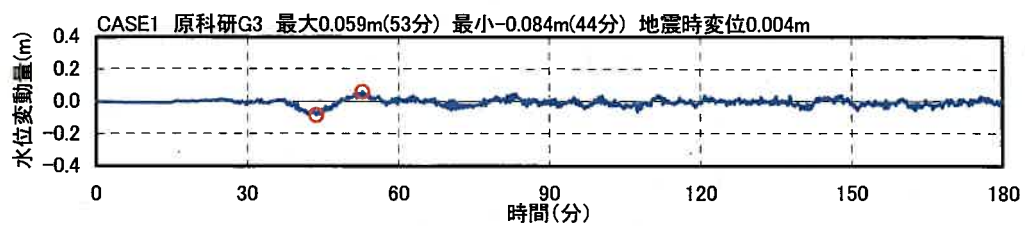
(1) CASE1



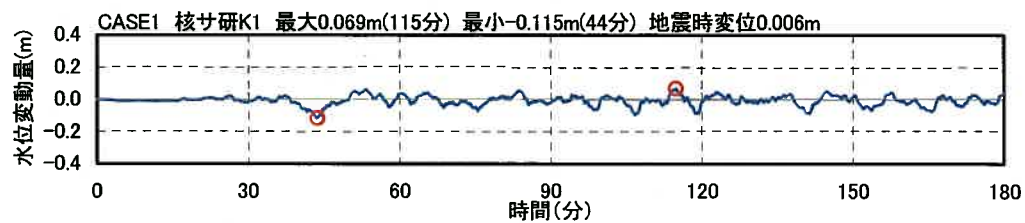
(2) CASE2

※コンター線は 2cm 間隔

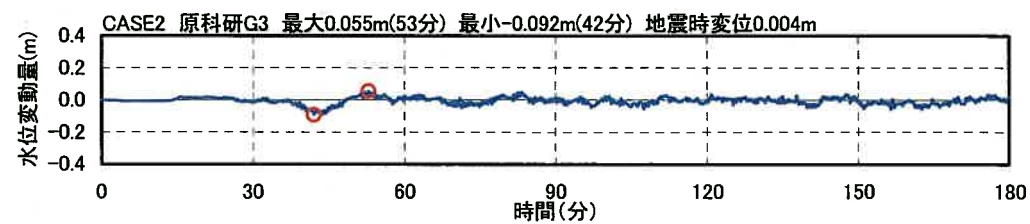
図 2.3-7 初期水位分布（海域 F3-F4b 断層 一様すべりモデル）



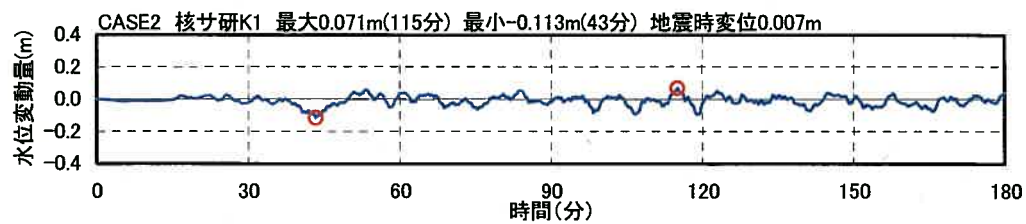
(2) CASE1 (原子力科学研究所前面)



(2) CASE1 (核燃料サイクル工学研究所前面)

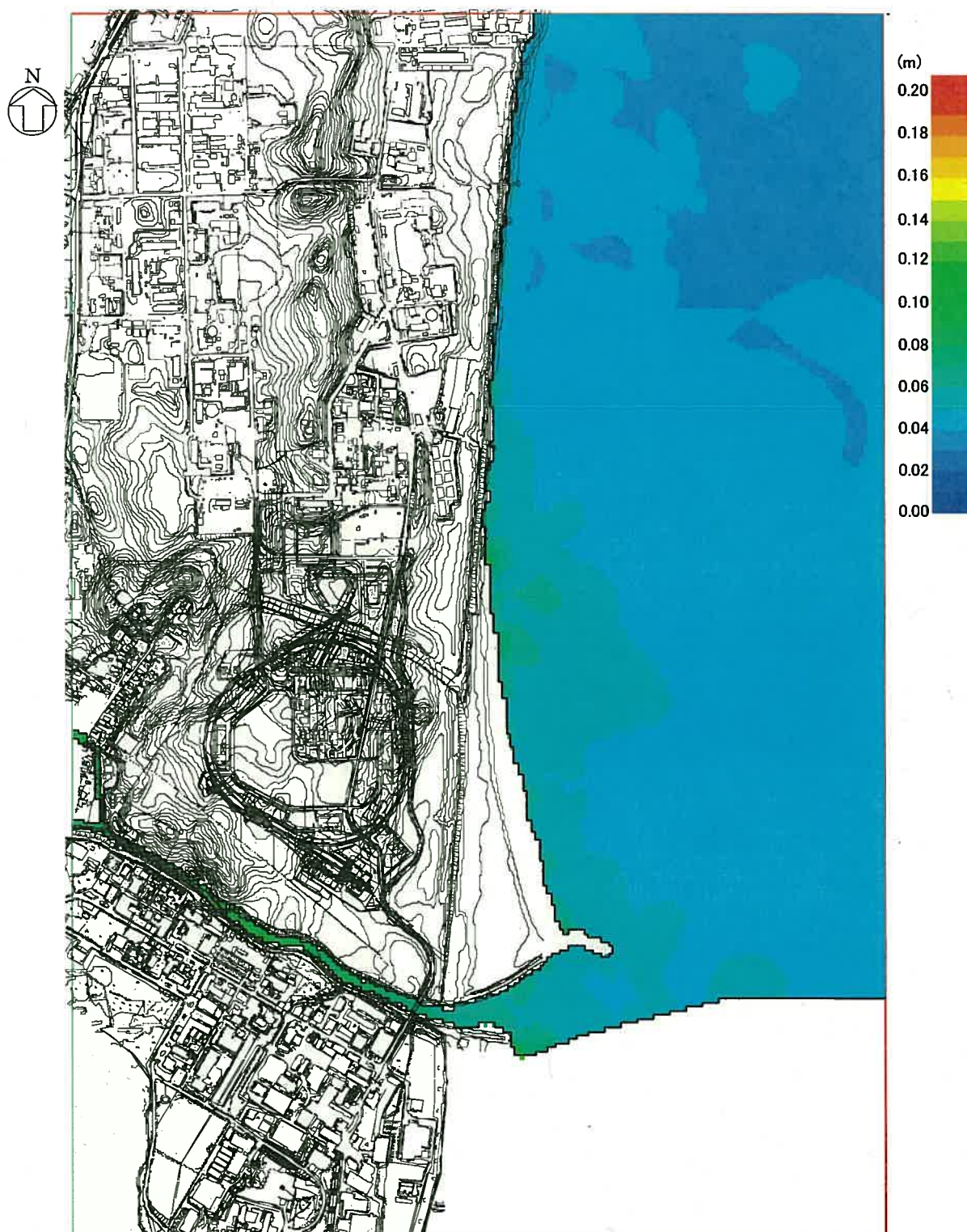


(3) CASE2 (原子力科学研究所前面)



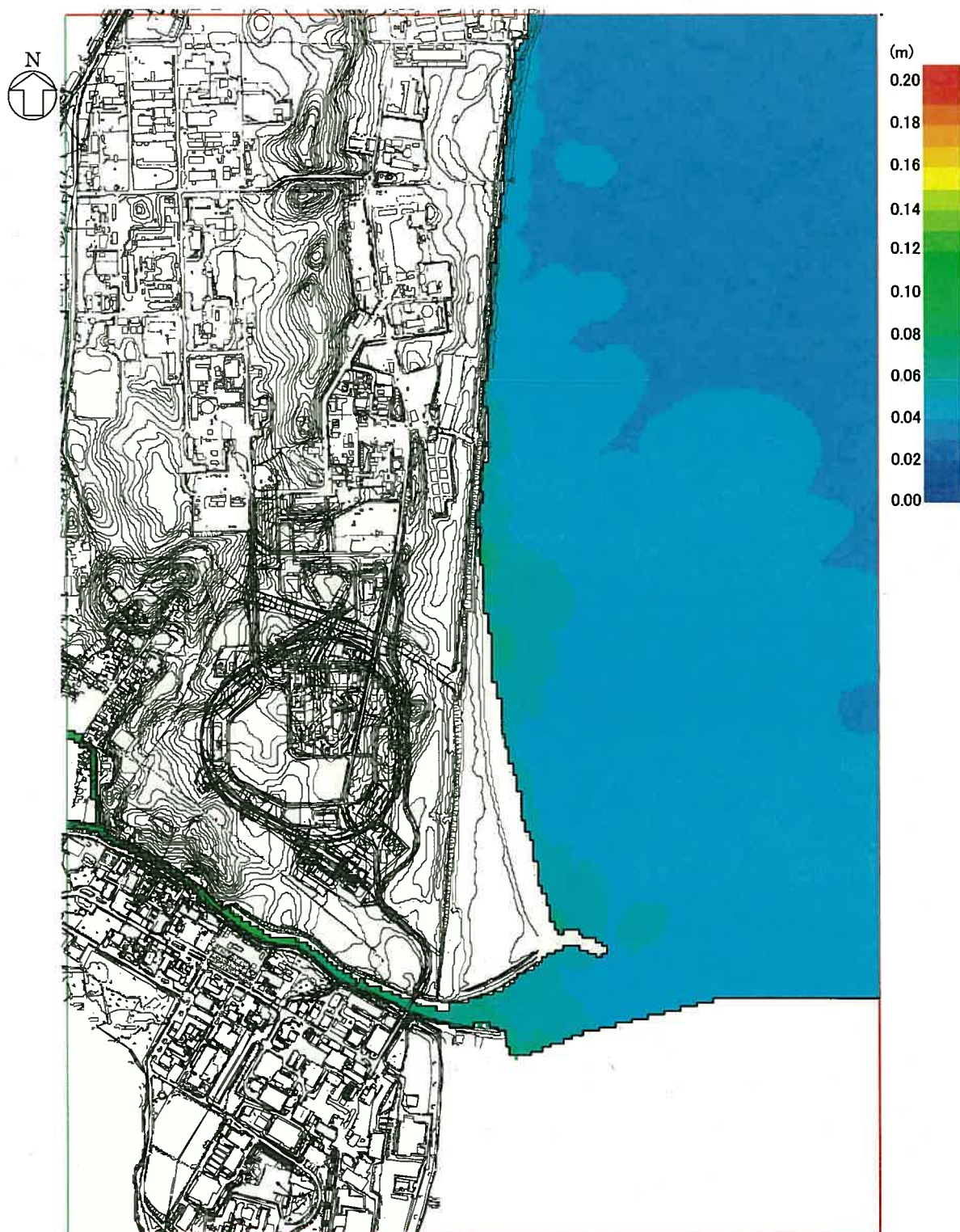
(4) CASE2 (核燃料サイクル工学研究所前面)

図 2.3-8 代表位置における水位の時刻歴波形 (海域 F3・F4b 断層 一様すべりモデル)



※上昇量は朔望平均満潮位(T.P.+0.603m)からの高さである。

図 2.3-9(a) 最大水位上昇量分布 (海域 F3-F4b 断層 一様すべりモデル CASE1)



※上昇量は朔望平均満潮位(T.P.+0.603m)からの高さである。

図 2.3-9(b) 最大水位上昇量分布 (海域 F3-F4b 断層 一様すべりモデル CASE2)

2.4 津波影響評価

2.2 及び 2.3 で実施した津波に関する検討結果を図 2.4-1 に示す位置において評価した。評価結果を表 2.4-1 に示す。今回検討を実施した津波では、想定鹿島灘の地震 CASE4 のアスペリティモデルが最大水位上昇量を示す結果となり、その高さは朔望平均満潮位 (T.P.+0.603m) を考慮して、原子力科学研究所側で T.P.+1.421m、核燃料サイクル工学研究所側で T.P.+1.487m であった。今回検討を実施した津波が陸上へ遡上することはないため、本津波による対象建家への影響はないことが分かった。

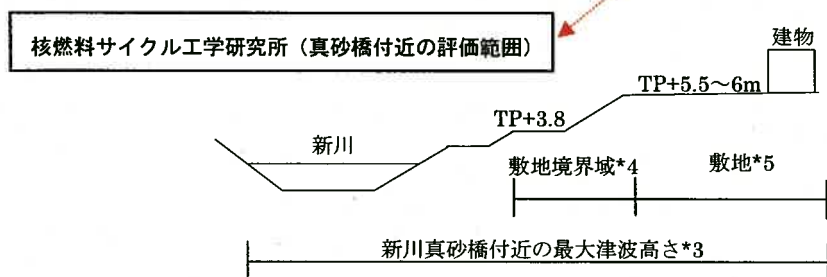
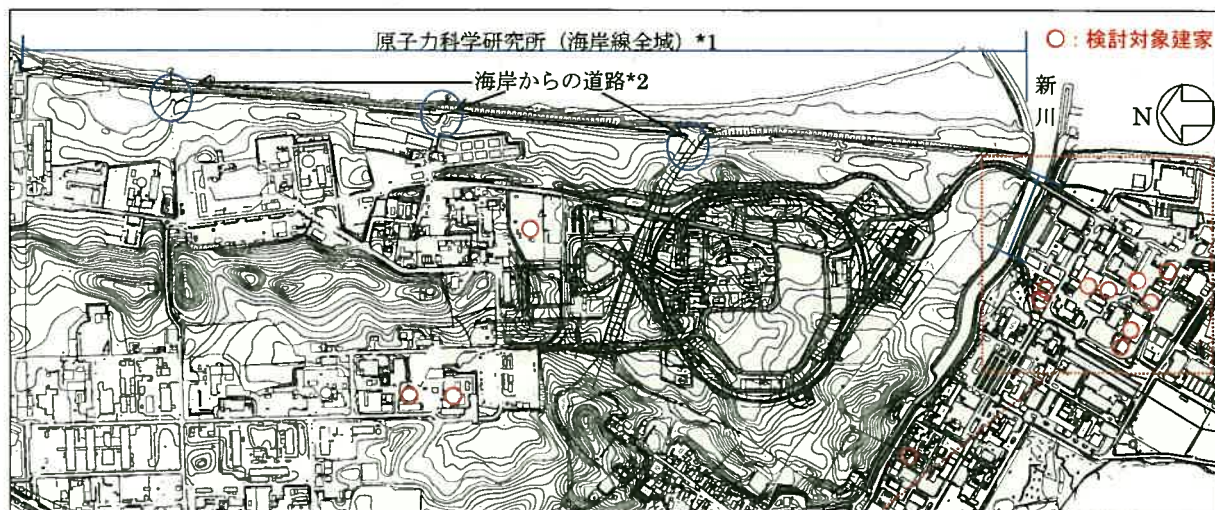


図 2.4-1 津波評価結果の対象位置

表 2.4-1 津波評価結果

対 象 津 波		原子力科学研究所			核燃料サイクル工学研究所			
		海岸線全域の 最大津波高さ*1 (T.P.m)	海岸から進入通 路の浸水*2 浸水深(m)	対象建家の浸水 浸水深(m)	真砂橋付近の 最大津波高さ*3 (T.P.m)	真砂橋付近の 敷地境界域 (T.P.+3.8m)*4 の 浸水(m)	敷地(T.P.+5.5～ 6m)の浸水*5	対象建家の浸水 浸水深(m)
鹿島灘の 地震	CASE4 (アスベリティモデル)	1.421	なし	なし	1.487	なし	なし	なし
	CASE7 (アスベリティモデル)	1.278	なし	なし	1.348	なし	なし	なし
	CASE4 (一様すべりモデル)	1.135	なし	なし	1.176	なし	なし	なし
	CASE7 (一様すべりモデル)	0.983	なし	なし	1.024	なし	なし	なし
	CASE1 (アスベリティモデル)	0.625	なし	なし	0.634	なし	なし	なし
	CASE2 (アスベリティモデル)	0.630	なし	なし	0.623	なし	なし	なし
	CASE1 (一様すべりモデル)	0.701	なし	なし	0.687	なし	なし	なし
海域 F3+F4b 断層		0.699	なし	なし	0.685	なし	なし	なし

※結果は朔望平均満潮位(T.P.+0.603m)を考慮した高さである。

<参考文献>

- 1) 土木学会 原子力土木委員会(2002)：原子力発電所の津波評価技術，321p.
- 2) 後藤智明・小川由信(1982)：Leap-frog 法を用いた津波の数値計算法，東北大学工学部土木工学科，52p.
- 3) Mansinha, L., and D. E. Smylie : 1971, The displacement fields of inclined faults, Bulletin of the Seismological Society of America, vol.61, No.5, pp.1433-1440.
- 4) 本間仁(1940)：低溢流堰堤の流量係数，土木学会誌，第 26 卷，第 6 号，pp.635-645., 第 9 号，pp.849-862.
- 5) 相田勇(1977)：陸上に溢れる津波の数値実験－高知県須崎および宇佐の場合－，東京大学地震研究所彙報，Vol.52, pp.441-460.

3. 敷地近傍の活断層による地殻変動に伴う基礎地盤の傾斜に関する検討

3.1 地殻変動量算定の検討概要及び条件

地盤を半無限弾性体と仮定し、耐震設計上考慮する断層面の食い違いによって地表に生じる変動量から、建家に生じる傾斜を求める。その解析の流れを図 3.1-1 に示す。

図 3.1-2 に示す建家の四隅の変動量を算出し、その結果から、図 3.1-2(a)および図 3.1-3 に示すように建家の AA' 方向、BB' 方向および最大傾斜角を算出する。ここで用いる地盤構造モデルを表 3.1-1 に示す。

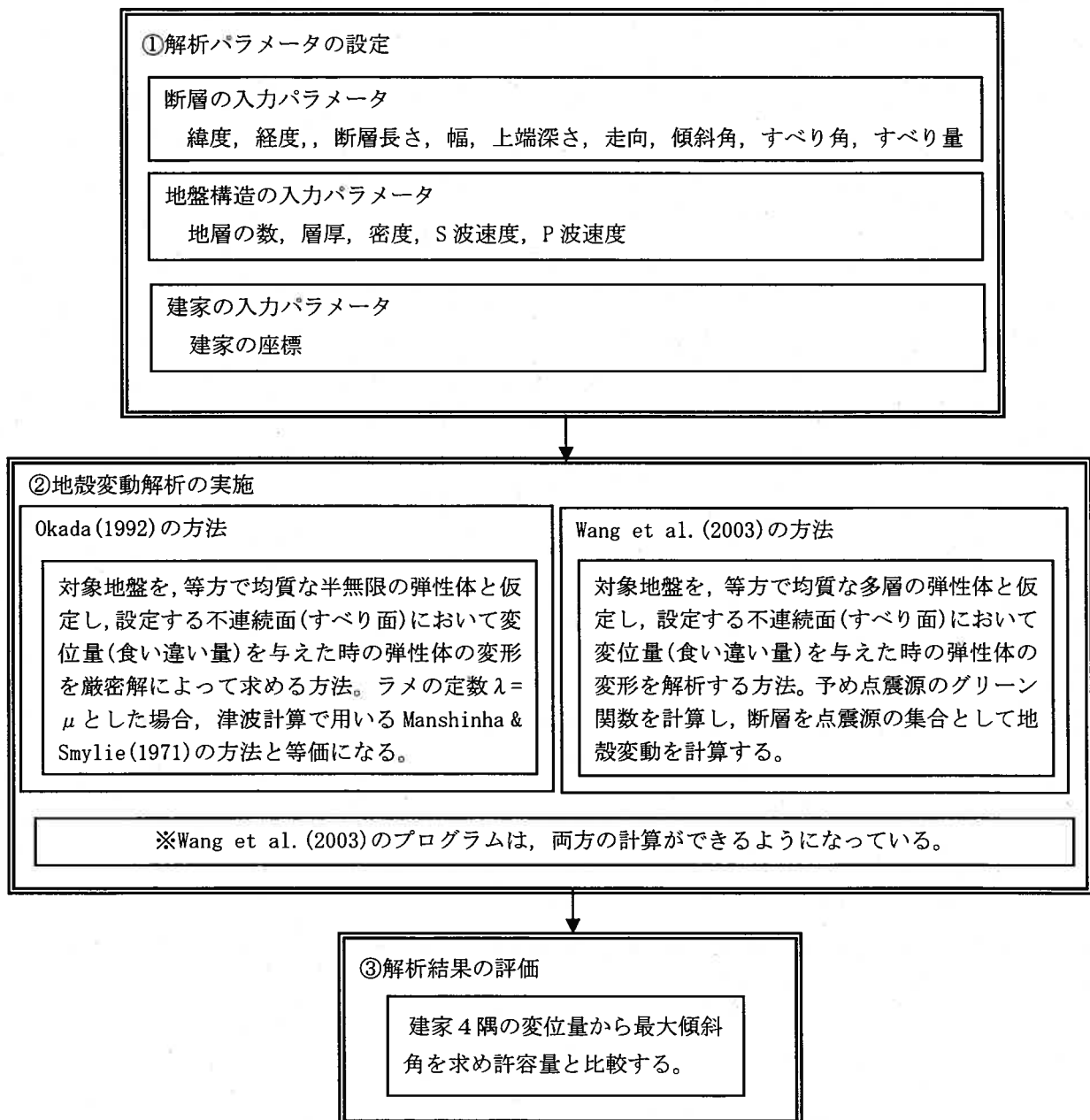


図 3.1-1 食い違いの弾性論による地殻変動解析の流れ

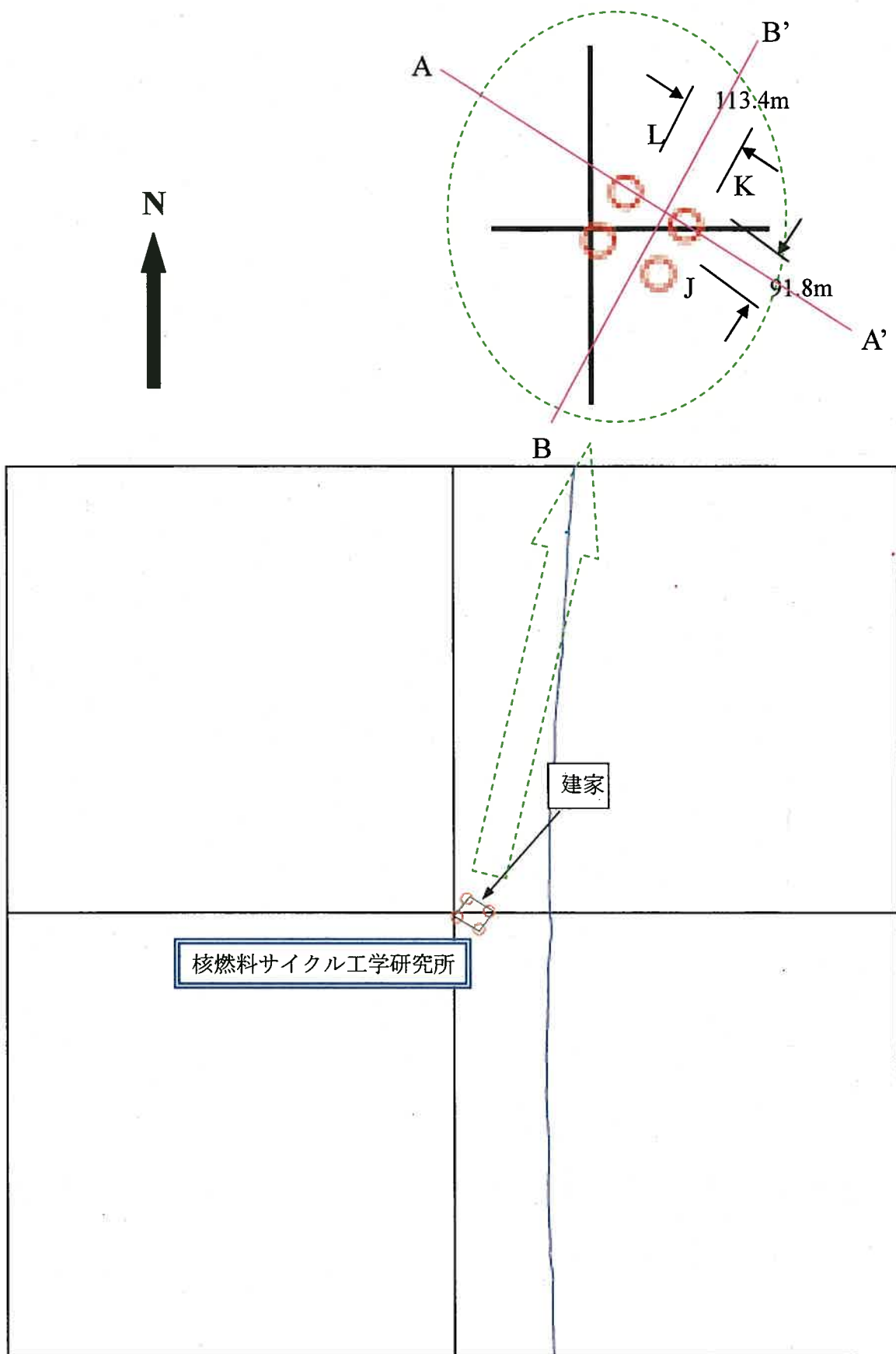
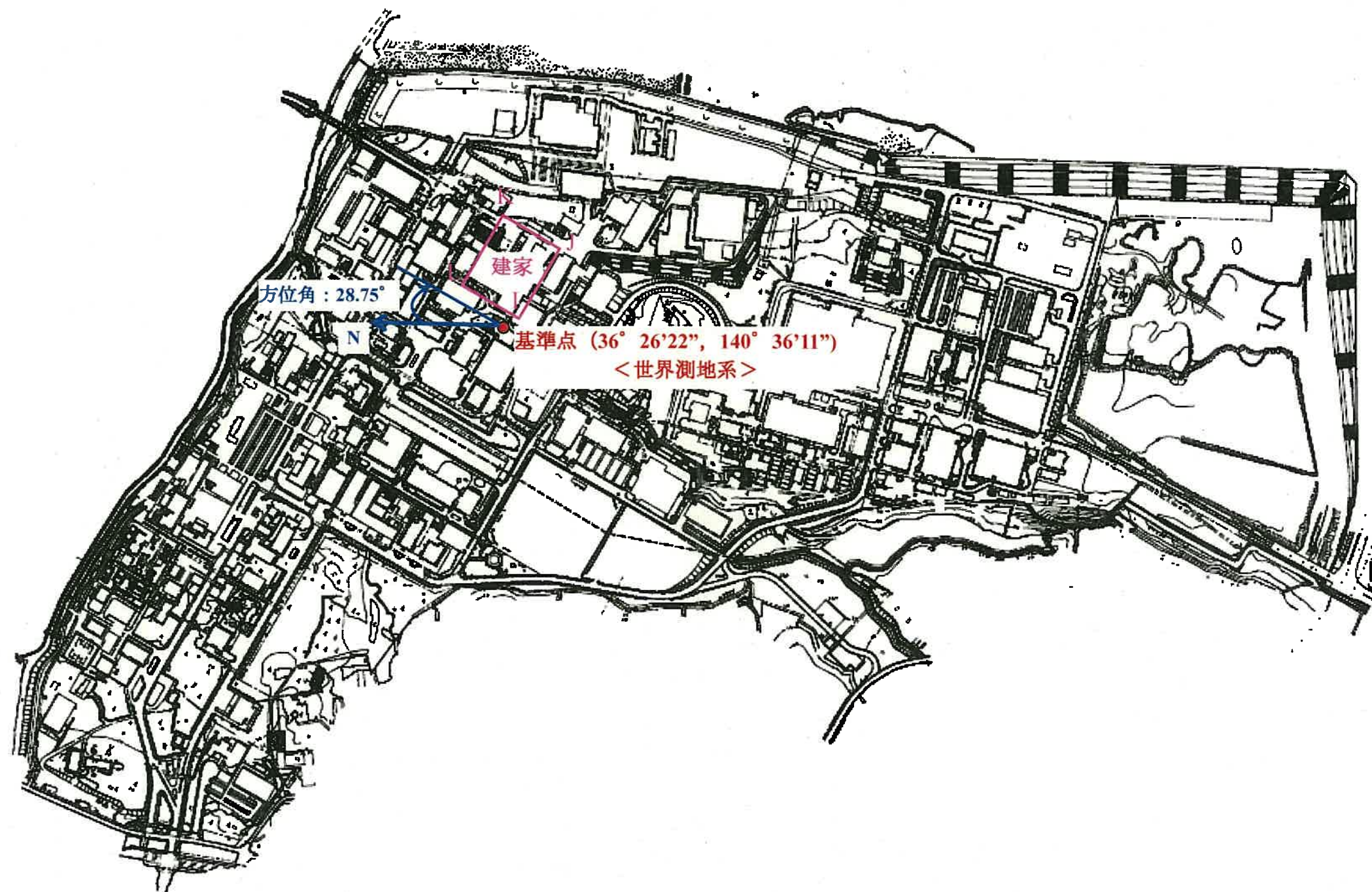


図 3.1-2(a) 計算座標系における建家四隅の位置

サイクル工学研究所。構内平面図



1:3,000

図 3.1-2(b) 核燃料サイクル工学研究所構内平面図

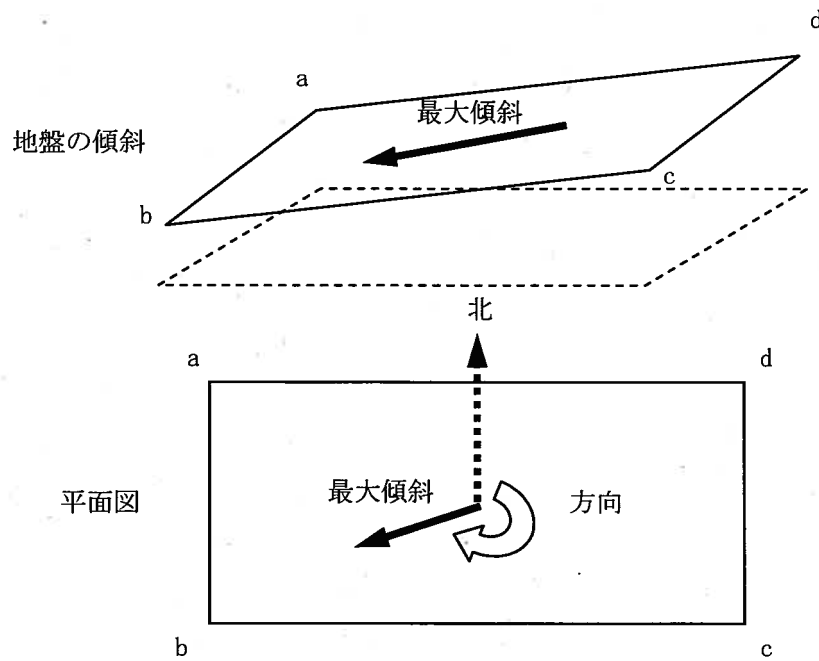


図 3.1-3 最大傾斜の方向

表 3.1-1 検討に用いた地盤構造モデル

上面深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (t/m^3)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)
0.00				
3.00	3.00	1.950	120	300
4.97	1.97	1.800	230	710
16.00	11.03	1.806	470	1675
68.00	52.00	1.806	540	1725
98.00	30.00	1.802	510	1715
124.00	26.00	1.803	565	1745
175.00	51.00	1.764	545	1760
221.00	46.00	1.728	590	1780
267.00	46.00	1.743	635	1820
309.00	42.00	1.763	665	1850
647.00	338.00	1.713	700	1855
970.00	323.00	2.110	1200	2608
979.00	9.00	2.240	1500	3103
1000.00	21.00	2.420	2000	3949
1010.00	10.00	2.570	2500	4804
4800.00	3790.00	2.660	2900	5492
16000.00	11200.00	2.700	3600	5960
	∞	2.800	4170	6810

3.2 F3+F4b 断層による地殻変動量の検討

F3+F4b 断層による核燃料サイクル工学研究所建家の地殻変動量の検討を行った。下記に F3+F4b 断層の検討用モデルを示す。

- ① 基本モデル, アスペリティーモデル(傾斜角 60°)
- ② 基本モデル, 一様すべり(上端 0m)モデル(傾斜角 60°)
- ③ 傾斜角の不確かさ, アスペリティーモデル(傾斜角 45°)
- ④ 傾斜角の不確かさ, 一様すべり(上端 0m)モデル(傾斜角 45°)

これらの F3+F4b 断層の検討用断層モデルのパラメータを表 3.2-1 に示す。また, 地図上での断層位置を図 3.2-1 に示し, 計算座標系での各断層面位置を図 3.2-2 に示す。

Okada(1992)及び多層モデル(Wang et al.(2003))による各断層の地殻変動量分布図を図 3.2-3 に示す。建家の四隅の地殻変動量を建家の AA' 方向, BB' 方向および最大傾斜角を算出し, この結果を表 3.2-2 に示す。

建家の傾斜許容値 1/1000 とすると, F3+F4b 断層による建家の最大傾斜角は, この許容値以下となっている。

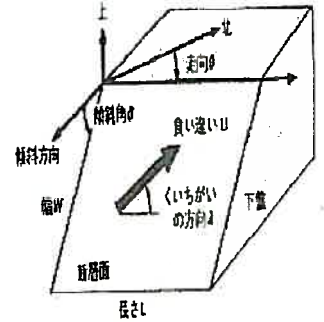


表 3.2-1(a) 検討用断層パラメータ

F3+F4b 断層：基本モデルアス、ペリティーモデル(傾斜角 60°)

断層パラメータ		設定方法	単位	設定値
地表トレース(北端)	北緯(世界測地系)	活断層調査結果による	-	36° 20' 21"
	東経(世界測地系)	活断層調査結果による	-	140° 39' 35"
地表トレース(南端)	北緯(世界測地系)	活断層調査結果による	-	36° 12' 16"
	東経(世界測地系)	活断層調査結果による	-	140° 35' 47"
断层面基準点(北端)	北緯(世界測地系)	地表トレースより傾斜角を考慮して計算	-	36° 20' 47"
	東経(世界測地系)	地表トレースより傾斜角を考慮して計算	-	140° 38' 8"
走向		活断層調査結果による	-	200.8° NE
傾斜角		活断層調査結果による	-	60°
ずれの種類		活断層調査結果による	-	逆断層
断層上端深さ		微小地震の発生及び地下構造より設定	km	4.0
断層下端深さ		微小地震の発生及び地下構造より設定	km	16.0
断層幅		W : 地震発生層と傾斜角より設定	km	14.0
断層長さ		L : 活断層調査結果による	km	16.0
断層面積		$S=LW$	km ²	224.0
等価半径		$R=(S/\pi)^{0.5}$	km	8.4
地震モーメント		$M_0=(S/(2.23 \times 10^{-15}))^{1.5}/1.0e7$ (Somerville <i>et al.</i> , 1999)	N·m	3.18E+18
気象庁マグニチュード		$M_j=(\log L+2.9)/0.6$ (松田, 1975)	-	6.8
		$M_j=(\log M_0-10.72)/1.17$ (武村, 1990)	-	6.7
モーメントマグニチュード		$M_w=(\log M_0-9.1)/1.5$	-	6.3
せん断波速度		β : 地下構造より設定	km/s	3.6
密度		ρ : 地下構造より設定	g/cm ³	2.7
剛性率		$\mu=\rho\beta^2$	N/m ²	3.50E+10
平均すべり量		$D=M_0/(\mu S)$	cm	40.6
平均応力降下量		$\Delta\sigma=(7/16)(M_0/R^3)$	MPa	2.3
短周期レベル(内陸地震の平均)		$A=2.46 \cdot 10^{10} \cdot (M_0 \cdot 1.0e7)^{1/3}$ (壇・他, 2001)	N·m/s ²	7.80E+18
破壊伝播速度		$V_R=0.72\beta$ (Geller, 1976)	km/s	2.59
破壊開始点		パラメータとする	-	-
破壊伝播形式		同心円状	-	-
アスペリティ	等価半径	$r_a=(7\pi M_0\beta^2)/(4AR)$	km	3.4
	面積	$S_a=\pi r_a^2$	km ²	37.3
	平均すべり量	$D_a=2D$	cm	81.2
	地震モーメント	$M_{0a}=\mu S_a D_a$	N·m	1.06E+18
	応力降下量	$\Delta\sigma_a=(7/16)M_0/(r_a^2 R)$	MPa	13.89
背景領域	面積	$S_b=S-S_a$	km ²	186.7
	地震モーメント	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$	N·m	2.12E+18
	平均すべり量	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	cm	32.5
	実効応力	$\sigma_b=0.2\Delta\sigma_a$	MPa	2.78
Q 値		地震調査研究推進本部の強震動評価資料より	-	110 ^{0.69}
f_{max}		地震調査研究推進本部の強震動評価資料より($m=4.2$)	Hz	6.0

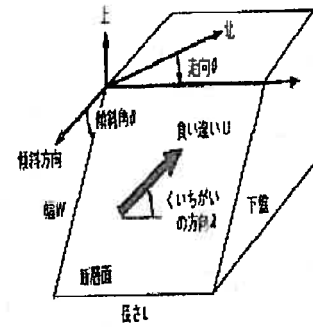


表 3.2-1(b) 検討用断層パラメータ

F3+F4b 断層：基本モデル, 一様すべり (上端 0m) モデル (傾斜角 60°)

断層パラメータ	設定値	根拠
北緯	36° 20' 21"	資料記載値 (地表トレース北端)
東経	140° 39' 35"	
断層上縁深さ(km)	0.0	津波評価技術
断層長さ(km)	16.00	資料記載値
断層幅(km)	18.48	16 / sin(60)
すべり量(m)	0.307	$D = M_0 / \mu LW$
剛性率(N/m ²)	3.5×10^{10}	資料記載値
地震モーメント(N・m)	3.18×10^{18}	資料記載値
傾斜角(°)	60	資料記載値
走向(°)	200.8	資料記載値
すべり角(°)	90	協議設定値

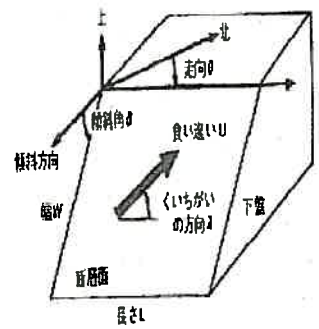


表 3.2-1(c) 検討用断層パラメータ

F3+F4b 断層：傾斜角の不確かさ、アスペリティーモデル(傾斜角 45°)

断層パラメータ		設定方法	単位	設定値
地表トレース(北端)	北緯(世界測地系)	活断層調査結果を延長	-	36° 20' 36"
	東経(世界測地系)	活断層調査結果を延長	-	140° 39' 42"
地表トレース(南端)	北緯(世界測地系)	活断層調査結果を延長	-	36° 12' 0"
	東経(世界測地系)	活断層調査結果を延長	-	140° 35' 40"
断層面基準点(北端)	北緯(世界測地系)	地表トレースより傾斜角を考慮して計算	-	36° 21' 22"
	東経(世界測地系)	地表トレースより傾斜角を考慮して計算	-	140° 37' 12"
走向		活断層調査結果による	-	200.8° NE
傾斜角		不確かさを考慮して設定	-	45°
ずれの種類		活断層調査結果による	-	逆断層
断層上端深さ		微小地震の発生及び地下構造より設定	km	4.0
断層下端深さ		微小地震の発生及び地下構造より設定	km	16.0
断層幅		W : 地震発生層と傾斜角より設定	km	17.0
断層長さ		$L=W$	km	17.0
断層面積		$S=LW$	km ²	289.0
等価半径		$R=(S/\pi)^{0.5}$	km	9.6
地震モーメント		$M_0 = \{S/(2.23 \times 10^{-15})\}^{1.5} / 1.0e7$ (Somerville et al., 1999)	N・m	4.67E+18
気象庁マグニチュード	$M_j = (\log L + 2.9)/0.6$ (松田, 1975)		-	6.9
	$M_j = (\log M_0 - 10.72)/1.17$ (武村, 1990)		-	6.8
モーメントマグニチュード		$M_w = (\log M_0 - 9.1)/1.5$	-	6.4
せん断波速度		β : 地下構造より設定	km/s	3.6
密度		ρ : 地下構造より設定	g/cm ³	2.7
剛性率		$\mu = \rho \beta^2$	N/m ²	3.50E+10
平均すべり量		$D = M_0 / (\mu S)$	cm	46.1
平均応力降下量		$\Delta \sigma = (7/16)(M_0/R^3)$	MPa	2.3
短周期レベル(内陸地震の平均)		$A = 2.46 \cdot 10^{10} \cdot (M_0 \cdot 1.0e7)^{1/3}$ (壇・他, 2001)	N・m/s ²	8.86E+18
破壊伝播速度		$V_R = 0.72 \beta$ (Geller, 1976)	km/s	2.59
破壊開始点		パラメータとする	-	-
破壊伝播形式		同心円状	-	-
アスペリティー	等価半径	$r_a = (7\pi M_0 \beta^2) / (4AR)$	km	3.9
	面積	$S_a = \pi r_a^2$	km ²	48.1
	平均すべり量	$D_a = 2D$	cm	92.3
	地震モーメント	$M_{0a} = \mu S_a D_a$	N・m	1.55E+18
	応力降下量	$\Delta \sigma_a = (7/16) M_0 / (r_a^3 R)$	MPa	13.89
背景領域	面積	$S_b = S - S_a$	km ²	240.9
	地震モーメント	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	N・m	3.11E+18
	平均すべり量	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$	cm	36.9
	実効応力	$\sigma_b = 0.2 \Delta \sigma_a$	MPa	2.78
Q値		地震調査研究推進本部の強震動評価資料より	-	110 ^{0.69}
f_{max}		地震調査研究推進本部の強震動評価資料より($m=4.2$)	Hz	6.0

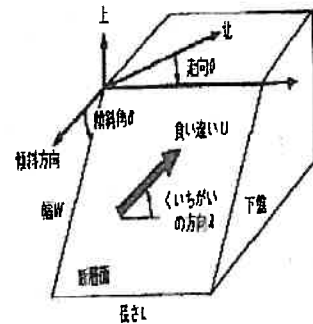


表 3.2-1(d) 検討用断層パラメータ

F3+F4b 断層：傾斜角の不確かさ，一様すべり（上端 0m）モデル（傾斜角 45° ）

断層パラメータ	設定値	根拠
北緯	$36^\circ 20' 36''$	資料記載値 (地表トレース北端)
東経	$140^\circ 39' 42''$	
断層上縁深さ(km)	0.0	津波評価技術
断層長さ(km)	17.00	資料記載値
断層幅(km)	22.63	$16 / \sin(45)$
すべり量(m)	0.347	$D = M_0 / \mu LW$
剛性率(N/m^2)	3.5×10^{10}	資料記載値
地震モーメント($N \cdot m$)	4.67×10^{18}	資料記載値
傾斜角($^\circ$)	45	資料記載値
走向($^\circ$)	200.8	資料記載値
すべり角($^\circ$)	90	協議設定値

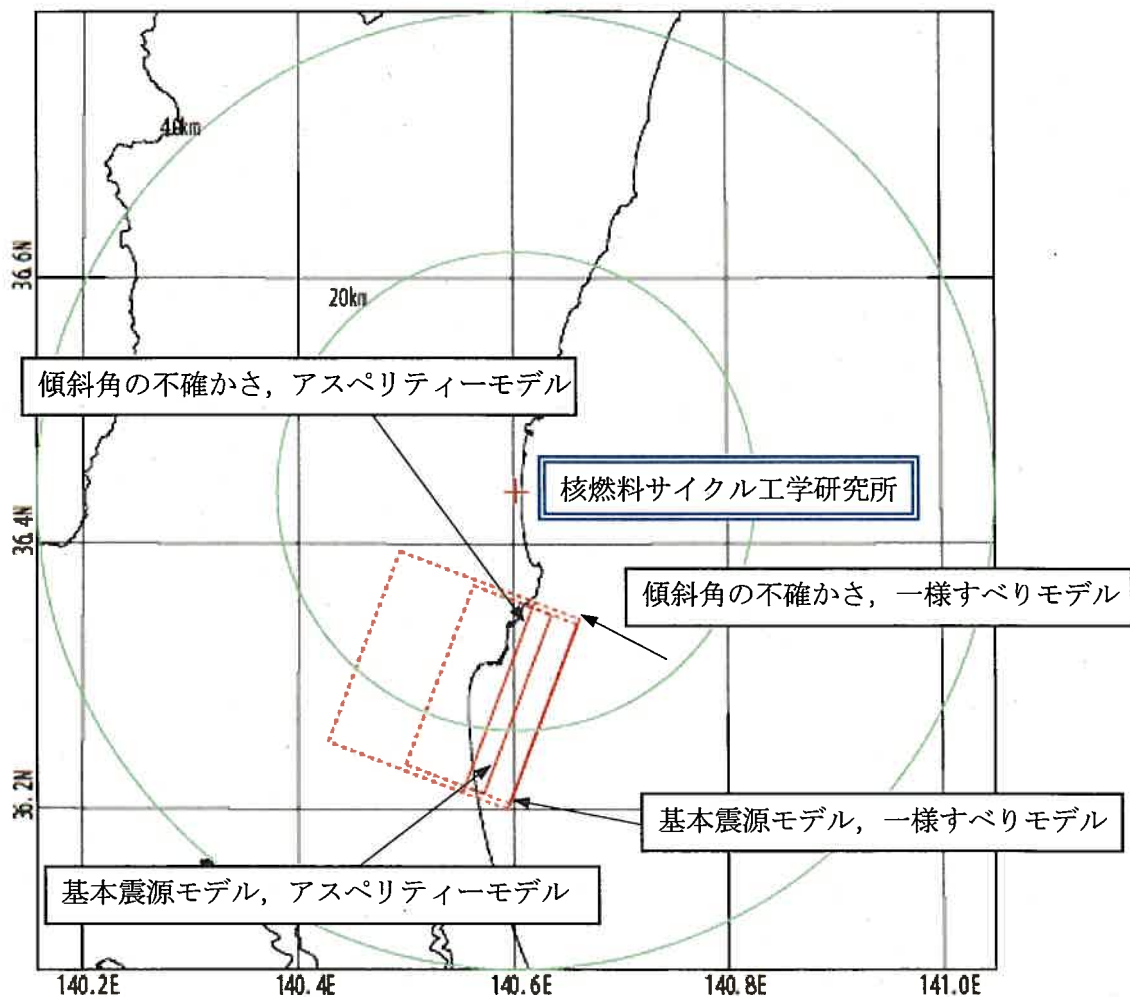


図 3.2-1 地図上での断層面: F3+F4b 断層

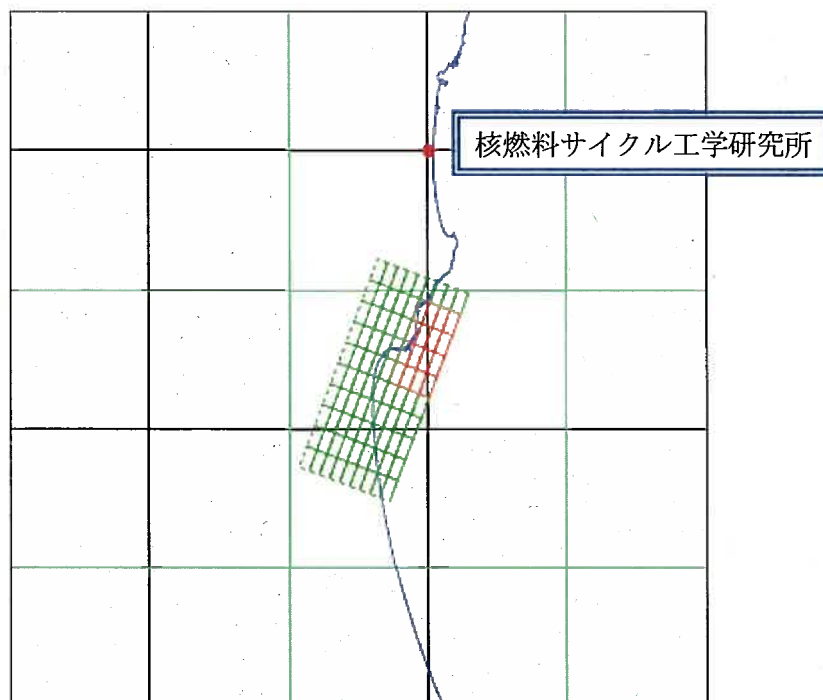


図 3.2-2(a) 計算座標系における断層面配置
F3+F4b 断層：基本モデル, アスペリティーモデル(傾斜角 60°)

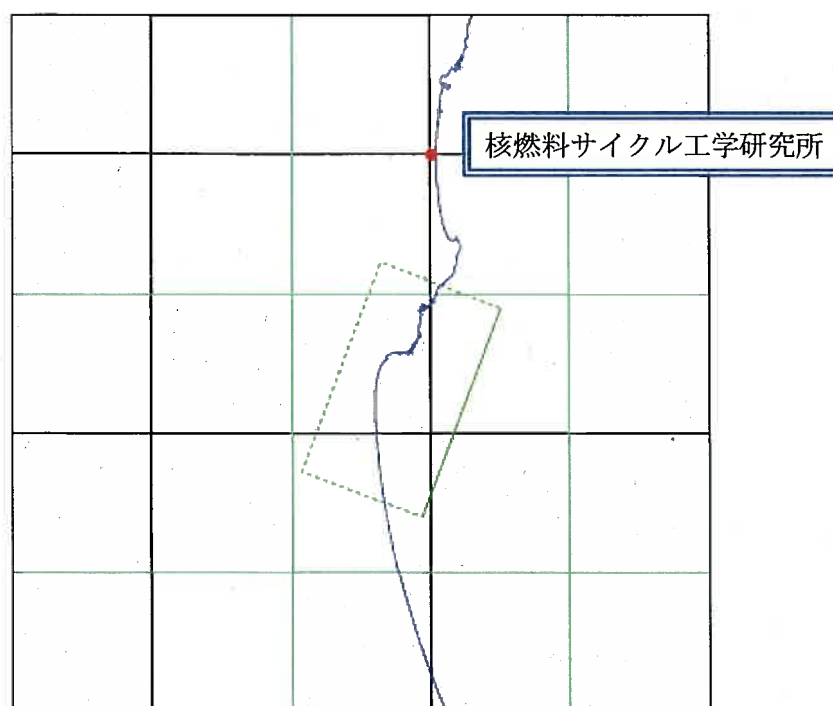


図 3.2-2(b) 計算座標系における断層面配置
F3+F4b 断層：基本モデル, 一様すべり(上端 0m)モデル(傾斜角 60°)

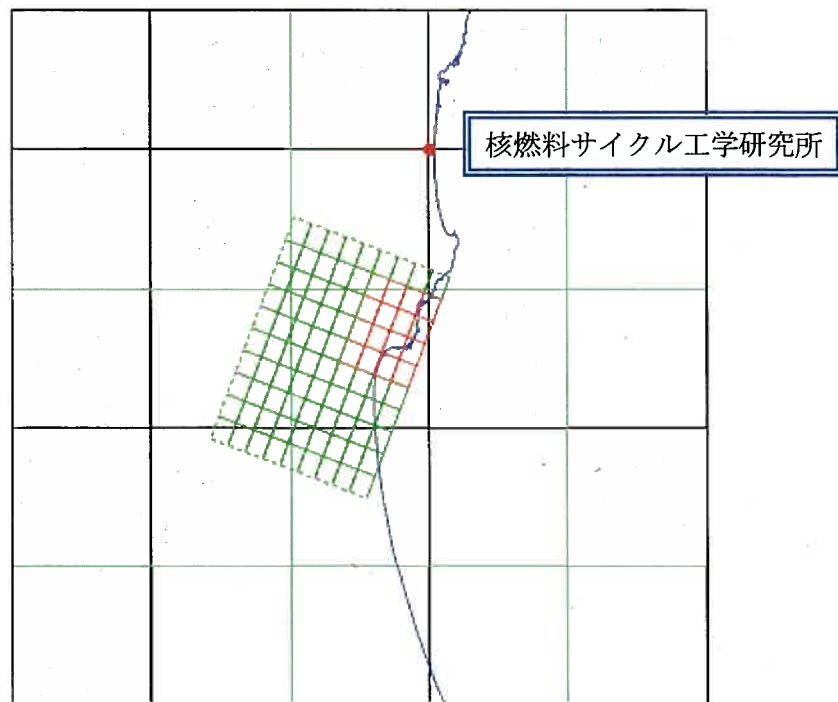


図 3.2-2(c) 計算座標系における断層面配置
F3+F4b 断層：傾斜角の不確かさ，アスペリティーモデル(傾斜角 45°)

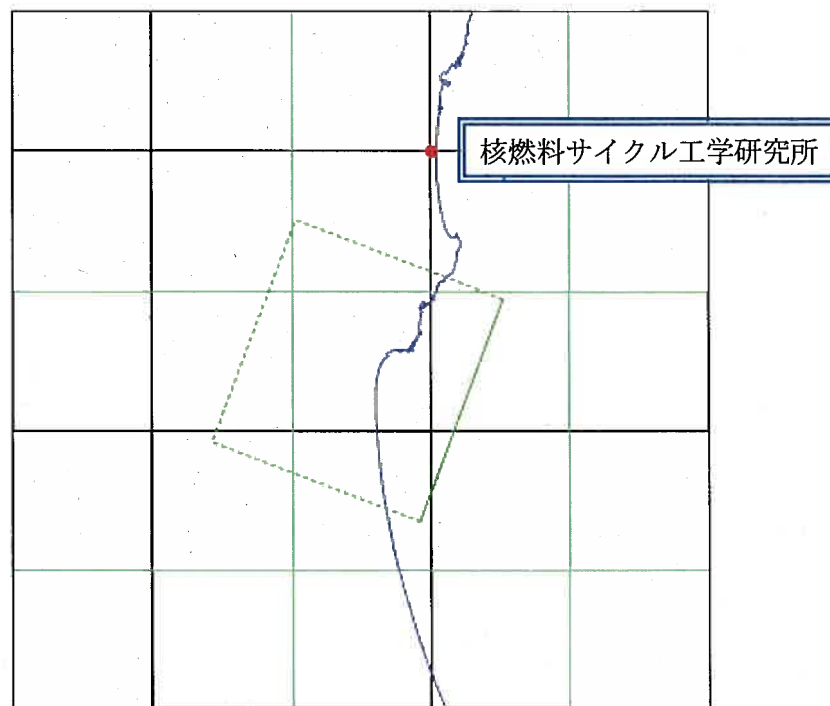
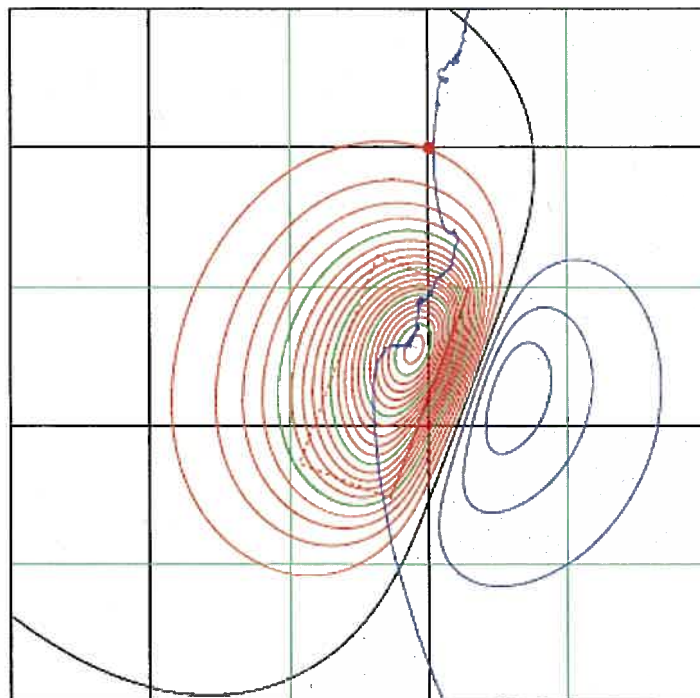
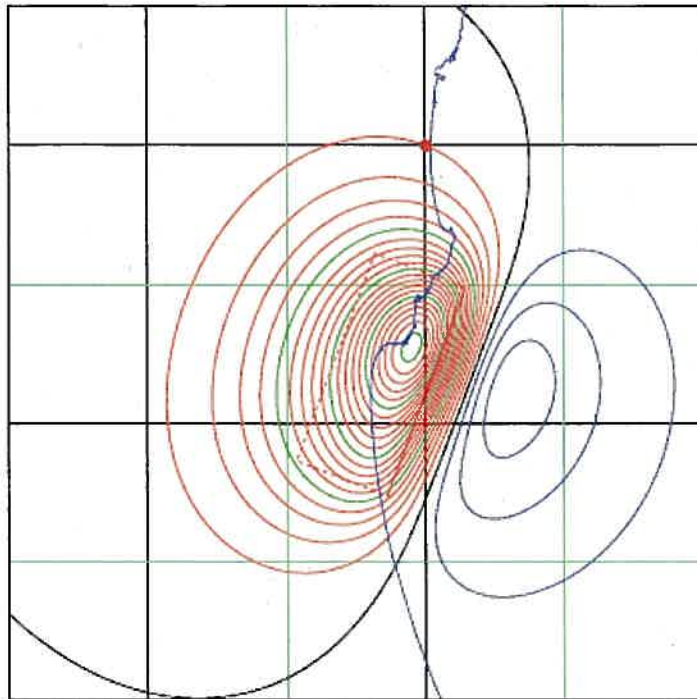


図 3.2-2(d) 計算座標系における断層面配置
F3+F4b 断層：傾斜角の不確かさ，一様すべり(上端 0m)モデル(傾斜角 45°)

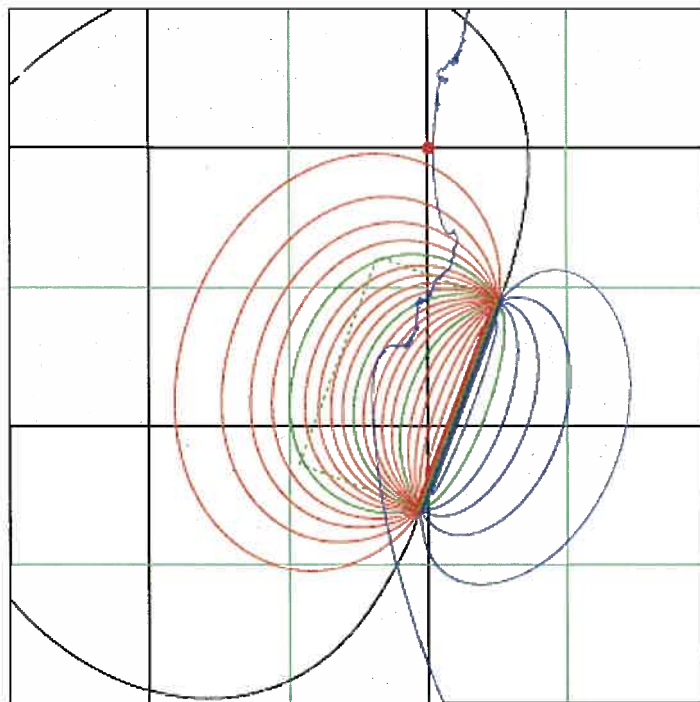
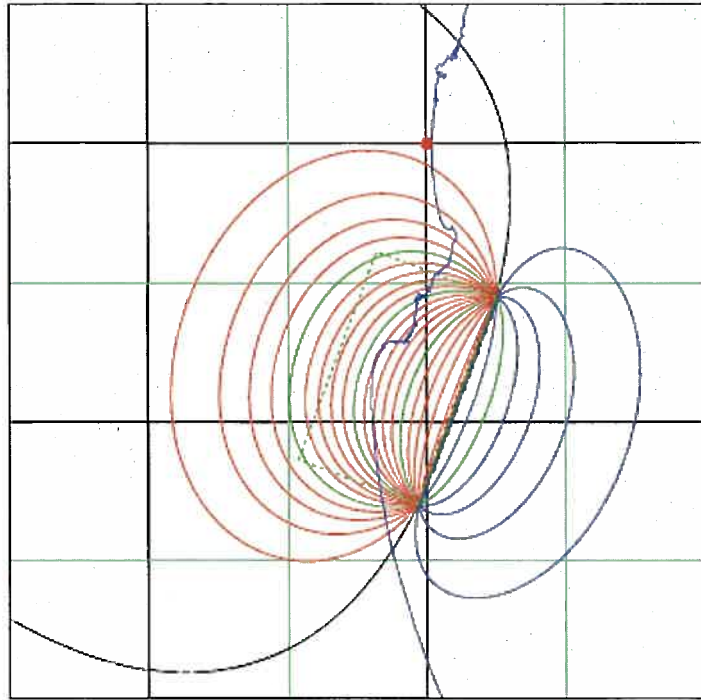
F3+F4b 断層：基本モデル，アスペリティーモデル



上：Okada(1992)、下：多層、コンター間隔 1cm (F3+F4b 断層)

図 3.2-3(a) 地殻変動量分布図

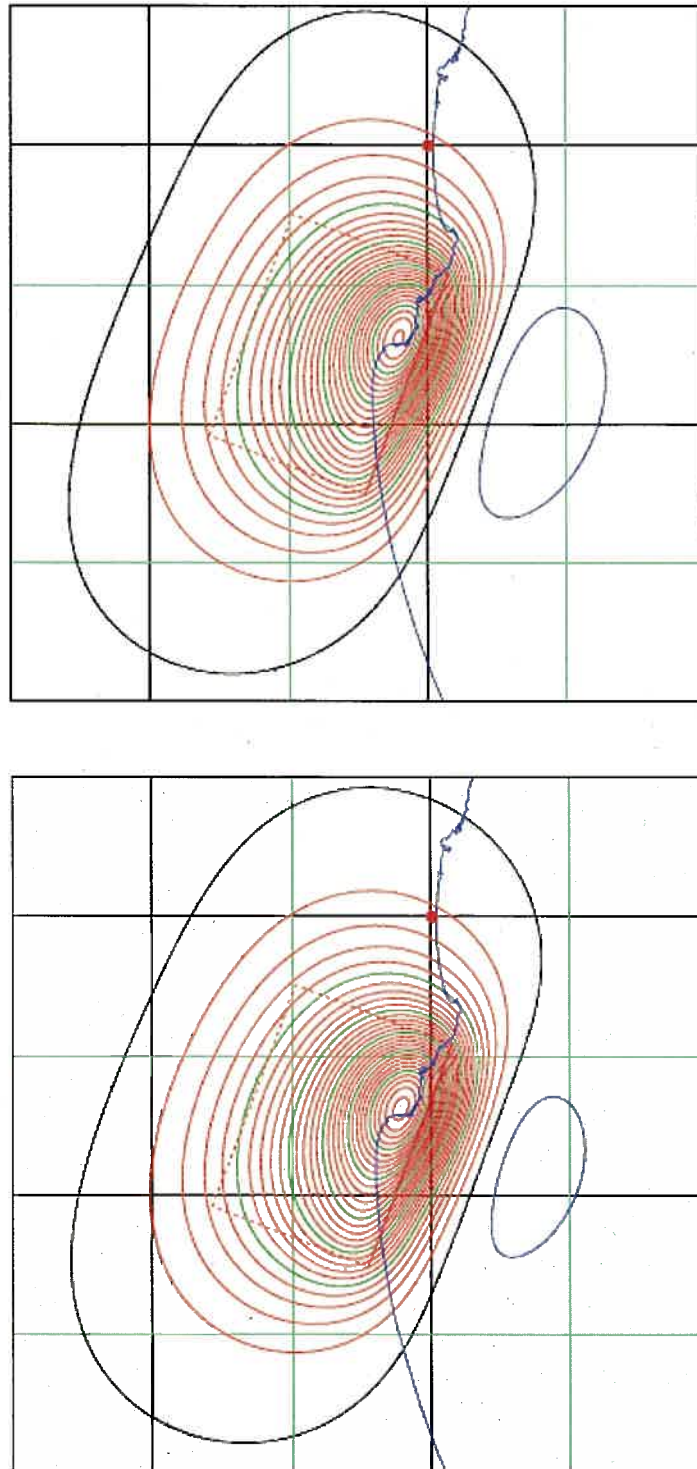
F3+F4b 断層：基本モデル，一様すべりモデル



上：Okada(1992)、下：多層、コンター間隔 1cm

図 3.2-3(b) 地殻変動量分布図

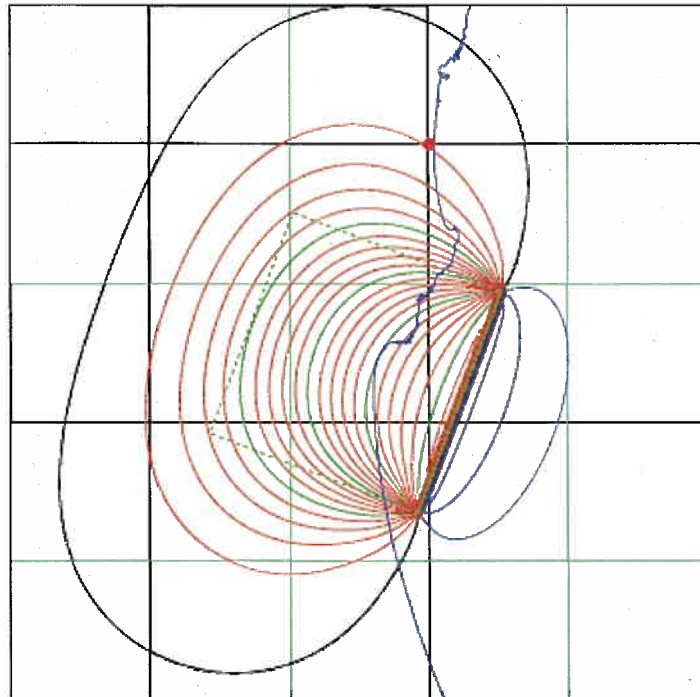
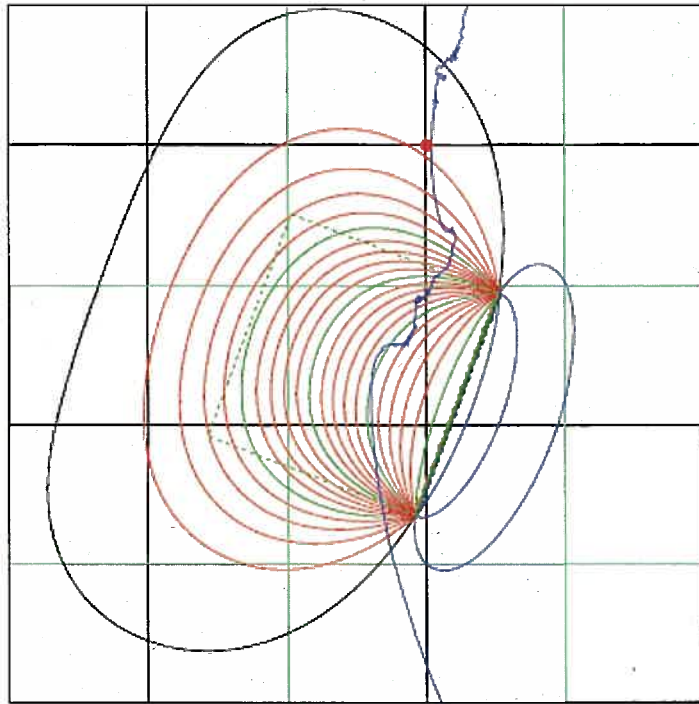
F3+F4b 断層：傾斜角の不確かさ，アスペリティモデル



上：Okada (1992)、下：多層、コンター間隔 1cm

図 3.2-3(c) 地殻変動量分布図

F3+F4b 断層：傾斜角の不確かさ，一様すべりモデル



上：Okada(1992)、下：多層、コンター間隔 1cm

図 3.2-3(d) 地殻変動量分布図

表 3.2-2(a) 地殻変動量及び最大傾斜
Okada(1992) : 建家
(F3+F4b断層:基本モデル, アスペリティモデル)

	Ux(cm) (+は北)	Uy(cm) (+は東)	Uz(cm) (+は上)	AA'傾斜*	BB'傾斜*	最大傾斜	方向
I	1.88284	0.4397	1.00759	3.66×10^{-7}	26.69×10^{-7}	27.12×10^{-7}	21
J	1.89234	0.44953	1.01188				
K	1.86771	0.44934	0.98724				
L	1.85855	0.4397	0.98323				

(F3+F4b断層:基本モデル, 一様すべりモデル)

	Ux(cm) (+は北)	Uy(cm) (+は東)	Uz(cm) (+は上)	AA'傾斜*	BB'傾斜*	最大傾斜	方向
I	1.22490	0.53124	0.68346	0.04×10^{-7}	19.93×10^{-7}	20.07×10^{-7}	29
J	1.23248	0.53713	0.68349				
K	1.21858	0.53339	0.66512				
L	1.21122	0.52764	0.66524				

(F3+F4b断層:傾斜角の不確かさ, アスペリティモデル)

	Ux(cm) (+は北)	Uy(cm) (+は東)	Uz(cm) (+は上)	AA'傾斜*	BB'傾斜*	最大傾斜	方向
I	2.53553	1.20159	1.31063	2.30×10^{-7}	39.90×10^{-7}	40.24×10^{-7}	26
J	2.54672	1.21342	1.31338				
K	2.51313	1.19974	1.27661				
L	2.50236	1.18825	1.27414				

(F3+F4b断層:傾斜角の不確かさ, 一様すべりモデル)

	Ux(cm) (+は北)	Uy(cm) (+は東)	Uz(cm) (+は上)	AA'傾斜*	BB'傾斜*	最大傾斜	方向
I	1.42991	1.26154	0.79680	4.15×10^{-7}	28.05×10^{-7}	28.50×10^{-7}	38
J	1.43942	1.26551	0.79213				
K	1.42568	1.24834	0.76634				
L	1.41640	1.24456	0.77109				

$$* : AA' \text{傾斜} = \frac{0.5 \cdot [Uz(I) + Uz(L)] - 0.5 \cdot [Uz(J) + Uz(K)] \text{cm}}{11340 \text{cm}}$$

$$BB' \text{傾斜} = \frac{0.5 \cdot [Uz(I) + Uz(J)] - 0.5 \cdot [Uz(K) + Uz(L)] \text{cm}}{9180 \text{cm}}$$

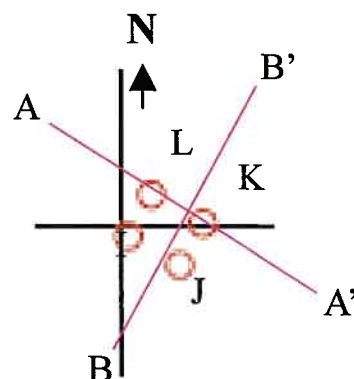


表 3.2-2(b) 地殻変動量及び最大傾斜

多層モデル：建家

(F3+F4b断層：基本モデル，アスペリティモデル)

	Ux(cm) (+は北)	Uy(cm) (+は東)	Uz(cm) (+は上)	AA'傾斜*	BB'傾斜*	最大傾斜	方向
I	2.23314	0.58630	0.97427	3.99×10^{-7}	26.60×10^{-7}	27.08×10^{-7}	21
J	2.24538	0.60029	0.97892				
K	2.21170	0.59856	0.95437				
L	2.19994	0.58487	0.94998				

(F3+F4b断層：基本モデル，一様すべりモデル)

	Ux(cm) (+は北)	Uy(cm) (+は東)	Uz(cm) (+は上)	AA'傾斜*	BB'傾斜*	最大傾斜	方向
I	1.47388	0.54961	0.75057	1.38×10^{-7}	19.83×10^{-7}	20.02×10^{-7}	25
J	1.48050	0.55871	0.75220				
K	1.45987	0.55501	0.73393				
L	1.45352	0.54612	0.73243				

(F3+F4b断層：傾斜角の不確かさ，アスペリティモデル)

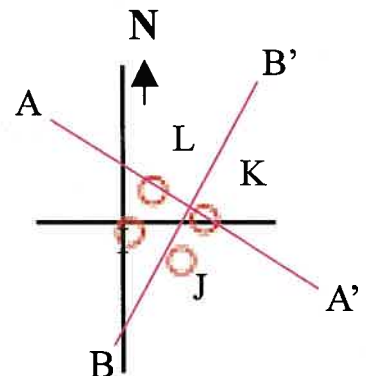
	Ux(cm) (+は北)	Uy(cm) (+は東)	Uz(cm) (+は上)	AA'傾斜*	BB'傾斜*	最大傾斜	方向
I	3.03087	1.48896	1.30196	2.07×10^{-7}	40.17×10^{-7}	40.50×10^{-7}	26
J	3.04234	1.50520	1.30443				
K	2.99548	1.48505	1.26743				
L	2.98456	1.46932	1.26521				

(F3+F4b断層：傾斜角の不確かさ，一様すべりモデル)

	Ux(cm) (+は北)	Uy(cm) (+は東)	Uz(cm) (+は上)	AA'傾斜*	BB'傾斜*	最大傾斜	方向
I	1.77728	1.31245	0.94981	2.13×10^{-7}	28.23×10^{-7}	28.50×10^{-7}	33
J	1.78197	1.31917	0.94745				
K	1.75859	1.29950	0.92148				
L	1.75417	1.29306	0.92395				

$$* : AA'傾斜 = \left| \frac{0.5 \cdot [Uz(I) + Uz(L)] - 0.5 \cdot [Uz(J) + Uz(K)]}{11340 \text{ cm}} \right|$$

$$BB'傾斜 = \left| \frac{0.5 \cdot [Uz(I) + Uz(J)] - 0.5 \cdot [Uz(K) + Uz(L)]}{9180 \text{ cm}} \right|$$



3.3 鹿島灘断層による地殻変動量の検討

鹿島灘断層による核燃料サイクル工学研究所建家の地殻変動量の検討を行った。下記に鹿島灘断層の検討用モデルを示す。

- ① 基本モデル, アスペリティーモデル
- ② 基本モデル, 一様すべりモデル
- ③ 断層位置の不確かさ, アスペリティーモデル
- ④ 断層位置の不確かさ, 一様すべりモデル

これらの鹿島灘断層の検討用断層モデルのパラメータを表 3.3-1 に示す。また、地図上での断層位置を図 3.3-1 に示し、計算座標系での各断層面位置を図 3.3-2 に示す。

Okada(1992)及び多層モデル(Wang et al.(2003))による各断層の地殻変動量分布図を図 3.3-3 に示す。建家の四隅の地殻変動量を建家の AA' 方向, BB' 方向および最大傾斜角を算出し、この結果を表 3.3-2 に示す。

建家の傾斜許容値 1/1000 とすると、鹿島灘断層による建家の最大傾斜角は、この許容値以下となっている。

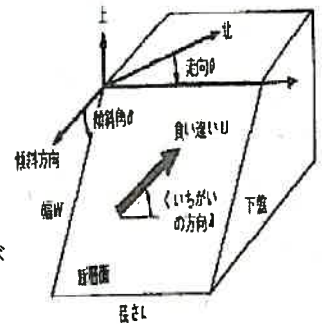


表 3.3-1(a) 検討用断層パラメータ
鹿島灘断層：基本モデル, アスぺリティーモデルおよび
基本モデル, 一様すべりモデル

断層パラメータ	設定方法	設定結果	モデル化後の値
基準点座標 (断層北東端)	1896年鹿島灘の地震の震央を断層中心とする	36°37' 45" N 141°29' 34" E	36°37'45"N 141°29'34"E
断層上端深さ	推本(2002)のプレート境界面により設定	32.0 km	32.0 km
気象庁マグニチュード	M_f : 垣見マップによる	7.5	7.5
地震モーメント	$M_0=10^{1.5M_f+9.2}$	2.82E+20 N・m	2.82E+20 N・m
モーメントマグニチュード	$M_w=(\log M_0-9.1)/1.5$	7.6	7.6
走向	推本(2002)のプレート境界面により設定	209°NE	209°NE
傾斜角	推本(2002)のプレート境界面により設定	22°	22°
平均応力降下量	$\Delta \sigma=(7/16) \times M_0 / R^3$	2.19 MPa	2.19 MPa
短周期レベル	$A=2.021 \times 10^{17} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	2.86E+19 N・m/s ²	2.86E+19 N・m/s ²
断層面積	$S=\pi R^2$	4621 km ²	4624 km ²
等価半径	$R=(7 \pi M_0 A)^{0.5} \times (S/S_a)^{0.25} \times \beta/2$	38.4 km	38.4 km
断層長さ	$L=S^{0.5}$	68.0 km	68.0 km
断層幅	$W=S^{0.5}$	68.0 km	68.0 km
剛性率	佐藤(2003)による ($\beta=4\text{km/s}$, $\rho=3\text{g/cm}^3$)	4.80E+10 N/m ²	4.80E+10 N/m ²
平均すべり量	$D=M_0/(\mu S)$ 一様すべりモデル用	127.1 cm	127.1 cm
破壊伝播速度	$V_R=0.72\beta$ (Geller, 1976)	2.88 km/sec	2.88 km/sec
破壊開始点	パラメータとする	-	-
破壊伝播形式	同心円状	-	-
ア ス ペ リ テ ィ ー	面積	$S_a=0.348S$	1610 km ²
	等価半径	$r_a=(S_a/\pi)^{0.5}$	22.6 km
	応力降下量	$\Delta \sigma_a=\Delta \sigma \times (S/S_a)$	6.27 MPa
	平均すべり量	$D_a=2.0D$	254.1 cm
	地震モーメント	$M_{0a}=\mu S_a D_a$	1.96E+20 N・m
ア ス ペ リ テ ィ ー 1	面積	$S_{a1}=(S_a \times (2/3))$	1073 km ²
	等価半径	$r_{a1}=(S_{a1}/\pi)^{0.5}$	18.5 km
	応力降下量	$\Delta \sigma_{a1}=\Delta \sigma_a$	6.27 MPa
	平均すべり量	$D_{a1}=M_{0a1}/\mu/S_{a1}$	281.6 cm
	地震モーメント	$M_{0a1}=M_{0a} \times S_{a1}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$	1.45E+20 N・m
ア ス ペ リ テ ィ ー 2	面積	$S_{a2}=(S_a \times (1/3))$	537 km ²
	等価半径	$r_{a2}=(S_{a2}/\pi)^{0.5}$	13.1 km
	応力降下量	$\Delta \sigma_{a2}=\Delta \sigma_a$	6.27 MPa
	平均すべり量	$D_{a2}=M_{0a2}/\mu/S_{a2}$	199.1 cm
	地震モーメント	$M_{0a2}=M_{0a} \times S_{a2}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$	5.13E+19 N・m
背 景 領 域	地震モーメント	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$	8.54E+19 N・m
	面積	$S_b=S-S_a$	3011 km ²
	平均すべり量	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	59.1 cm
	実効応力	$\sigma_b=0.2 \Delta \sigma_a$	1.25 MPa
短周期レベル(参考)	$A=(A_a^2+A_b^2)^{0.5}$, $A_i=4\pi r_i \sigma_i \beta^2$ ($i=a,b$)	2.96E+19 N・m/s ²	2.98E+19 N・m/s ²
Q値	佐藤(2003)による	154 $f^{0.91}$	154 $f^{0.91}$
$f_{\max}$	推本(2002)による	13.5Hz	13.5Hz

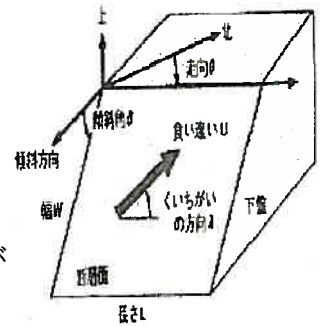


表 3.3-1(b) 検討用断層パラメータ

鹿島灘断層：断層位置の不確かさ、アスペリティーモデルおよび
断層位置の不確かさ、一様すべりモデル

断層パラメータ	設定方法	設定結果	モデル化後の値
基準点座標 (断層北東端)	断層中心がサイト最短となるように設定	36°36' 18" N 141°15' 53" E	36°36'18"N 141°15'53"E
断層上端深さ	推本(2002)のプレート境界面により設定	35.2 km	35.2 km
気象庁マグニチュード	M_J : 垣見マップによる	7.5	7.5
地震モーメント	$M_0=10^{1.5M_J+9.2}$	2.82E+20 N・m	2.82E+20 N・m
モーメントマグニチュード	$M_w=(\log M_0-9.1)/1.5$	7.6	7.6
走向	推本(2002)のプレート境界面により設定	196°NE	196°NE
傾斜角	推本(2002)のプレート境界面により設定	23°	23°
平均応力降下量	$\Delta \sigma = (7/16) \times M_0 / R^3$	2.19 MPa	2.19 MPa
短周期レベル	$A=2.021 \times 10^{17} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	2.86E+19 N・m/s ²	2.86E+19 N・m/s ²
断層面積	$S=\pi R^2$	4621 km ²	4624 km ²
等価半径	$R=(7 \pi M_0 A)^{0.5} \times (S/S_a)^{0.25} \times \beta/2$	38.4 km	38.4 km
断層長さ	$L=S^{0.5}$	68.0 km	68.0 km
断層幅	$W=S^{0.5}$	68.0 km	68.0 km
剛性率	佐藤(2003)による ($\beta=4\text{km/s}$, $\rho=3\text{g/cm}^3$)	4.80E+10 N/m ²	4.80E+10 N/m ²
平均すべり量	$D=M_0/(\mu S)$ 一様すべりモデル用	127.1 cm	127.1 cm
破壊伝播速度	$V_R=0.72\beta$ (Geller, 1976)	2.88 km/sec	2.88 km/sec
破壊開始点	パラメータとする	-	-
破壊伝播形式	同心円状	-	-
アスペリティー	面積	$S_a=0.348S$	1610 km ²
	等価半径	$r_a=(S_a/\pi)^{0.5}$	22.6 km
	応力降下量	$\Delta \sigma_a=\Delta \sigma \times (S/S_a)$	6.27 MPa
	平均すべり量	$D_a=2.0D$	254.1 cm
	地震モーメント	$M_{0a}=\mu S_a D_a$	1.96E+20 N・m
アスペリティー1	面積	$S_{a1}=(S_a \times (2/3))$	1073 km ²
	等価半径	$r_{a1}=(S_{a1}/\pi)^{0.5}$	18.5 km
	応力降下量	$\Delta \sigma_{a1}=\Delta \sigma_a$	6.27 MPa
	平均すべり量	$D_{a1}=M_{0a1}/\mu /S_{a1}$	281.6 cm
	地震モーメント	$M_{0a1}=M_{0a} \times S_{a1}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$	1.45E+20 N・m
アスペリティー2	面積	$S_{a2}=(S_a \times (1/3))$	537 km ²
	等価半径	$r_{a2}=(S_{a2}/\pi)^{0.5}$	13.1 km
	応力降下量	$\Delta \sigma_{a2}=\Delta \sigma_a$	6.27 MPa
	平均すべり量	$D_{a2}=M_{0a2}/\mu /S_{a2}$	199.1 cm
	地震モーメント	$M_{0a2}=M_{0a} \times S_{a2}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$	5.13E+19 N・m
背景領域	地震モーメント	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$	8.54E+19 N・m
	面積	$S_b=S-S_a$	3011 km ²
	平均すべり量	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	59.1 cm
	実効応力	$\sigma_b=0.2 \Delta \sigma_a$	1.25 MPa
短周期レベル(参考)	$A=(A_a^2+A_b^2)^{0.5}$, $A_i=4\pi r_i \sigma_i \beta^2$ ($i=a,b$)	2.96E+19 N・m/s ²	2.98E+19 N・m/s ²
Q値	佐藤(2003)による	154 $f^{0.91}$	154 $f^{0.91}$
$f_{\max}$	推本(2002)による	13.5Hz	13.5Hz

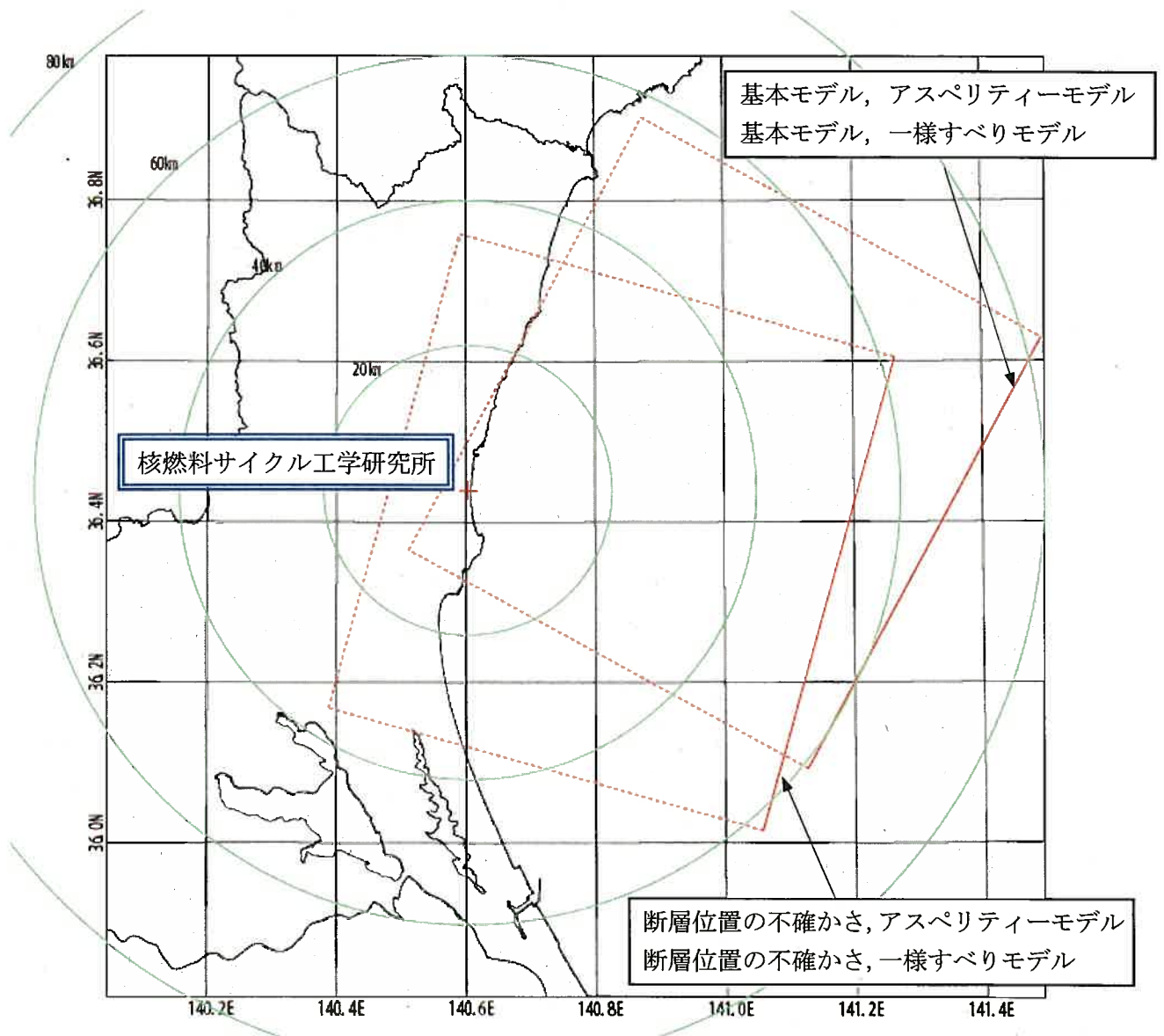


図 3.3-1 地図上での断層面：鹿島灘断層

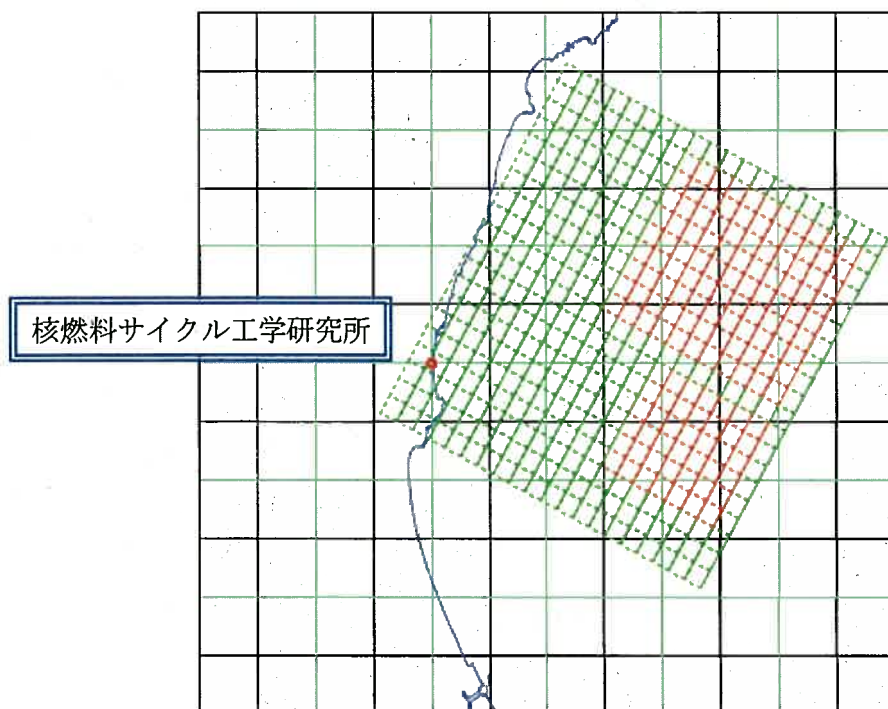


図 3.3-2(a) 計算座標系における断層面配置
鹿島灘断層：基本モデル, アスぺリティーモデル

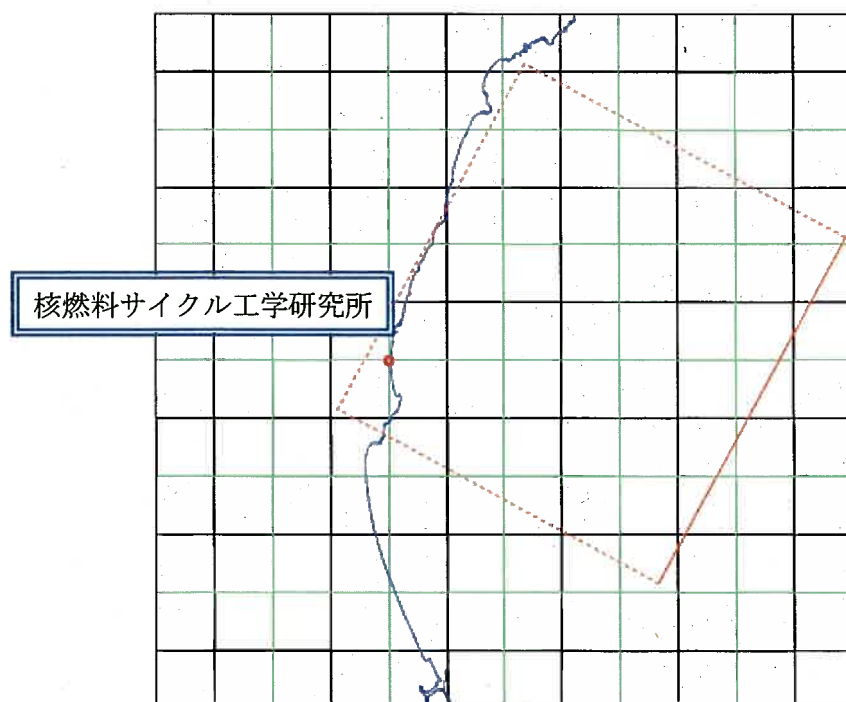


図 3.3-2(b) 計算座標系における断層面配置
鹿島灘断層：基本モデル, 一様すべりモデル

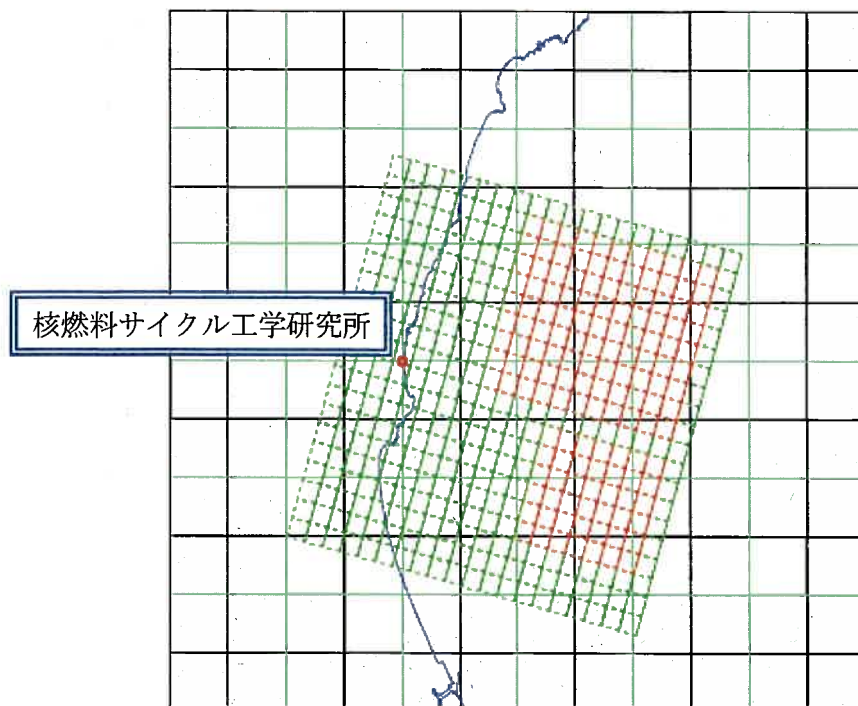


図 3.3-2(c) 計算座標系における断層面配置
鹿島灘断層：断層位置の不確かさ, アスペリティーモデル

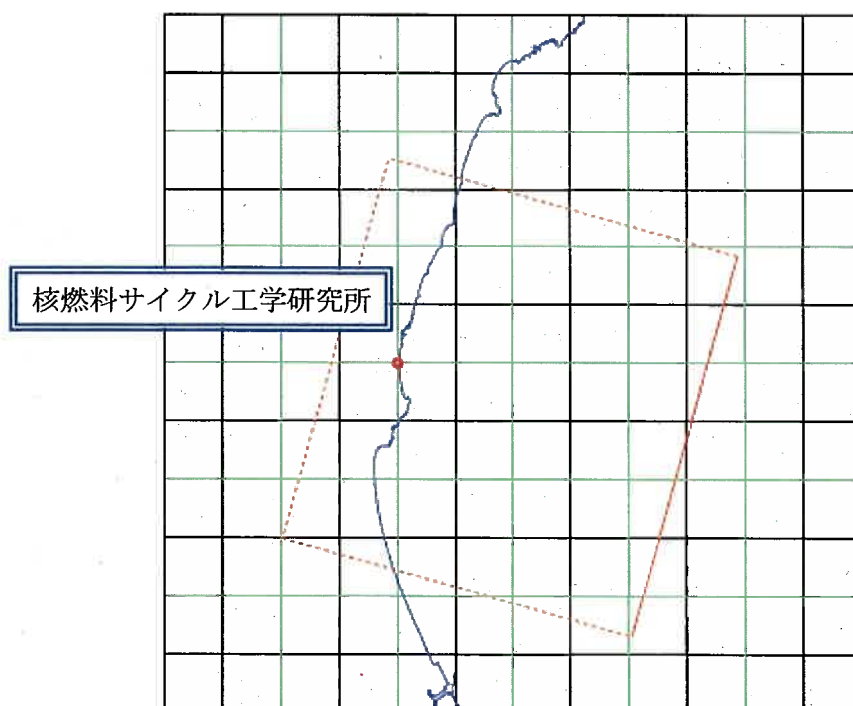
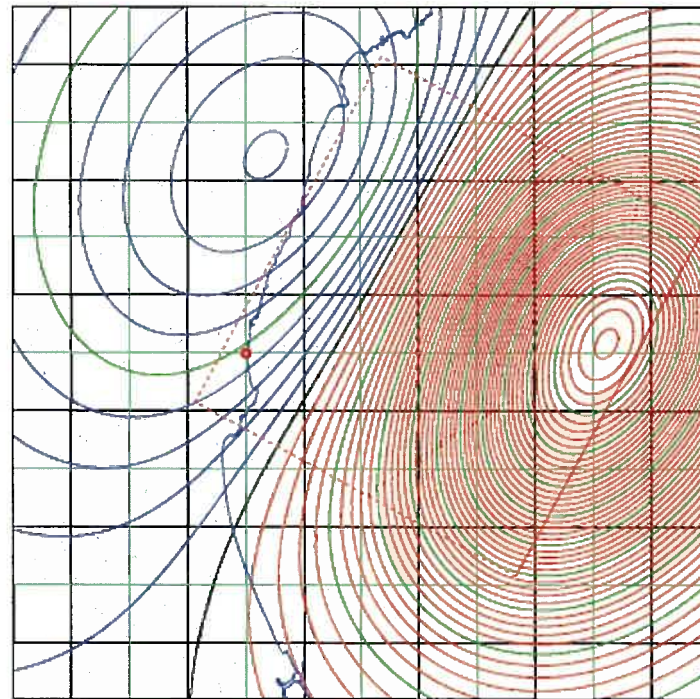
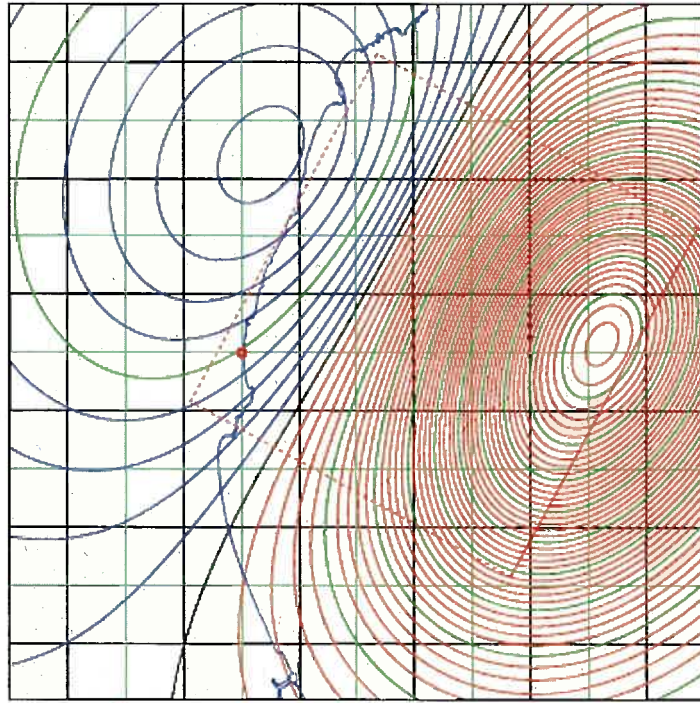


図 3.3-2(d) 計算座標系における断層面配置
鹿島灘断層：断層位置の不確かさ, 一様すべりモデル

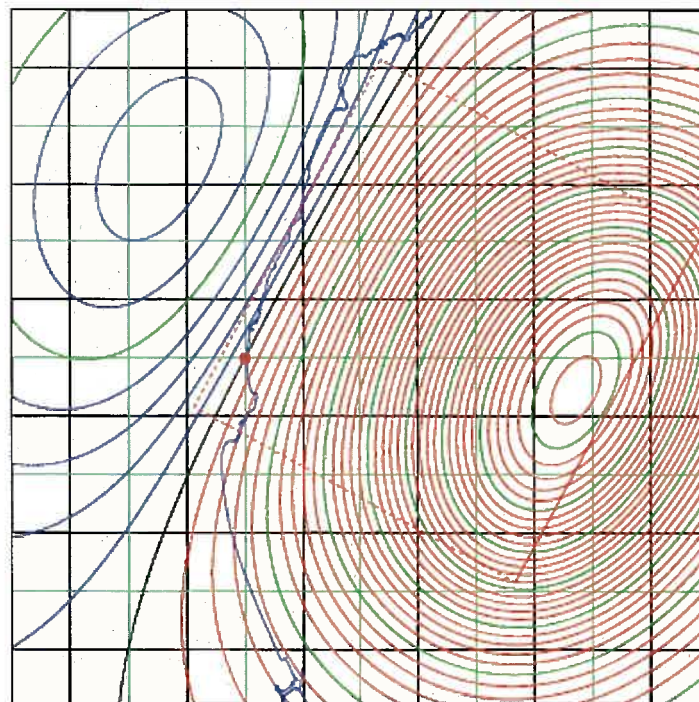
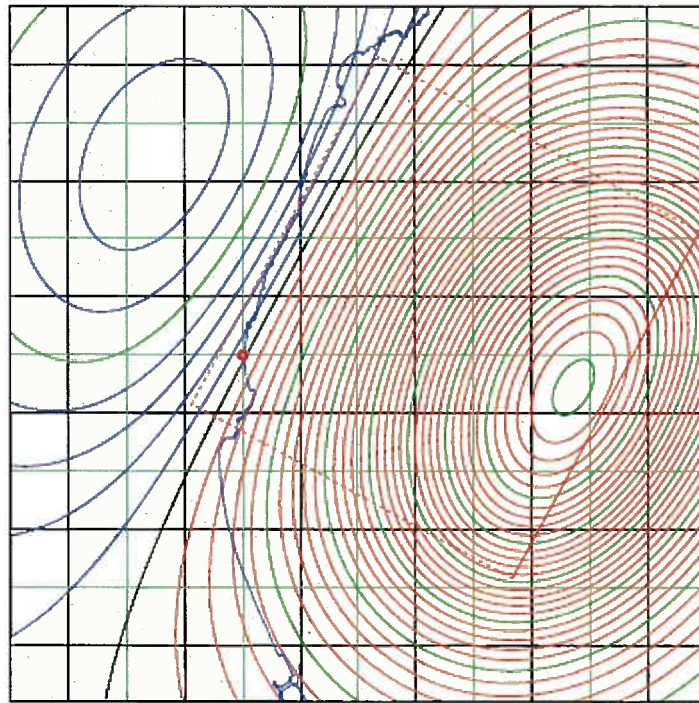
鹿島灘断層：基本モデル, アスぺリティーモデル



上 : Okada(1992)、下 : 多層、コンター間隔 1cm

図 3.3-3(a) 地殻変動量分布図

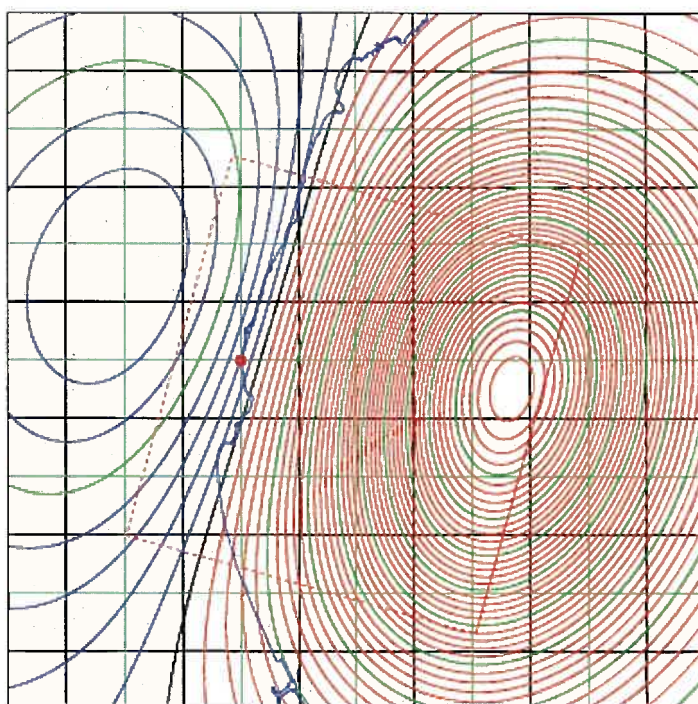
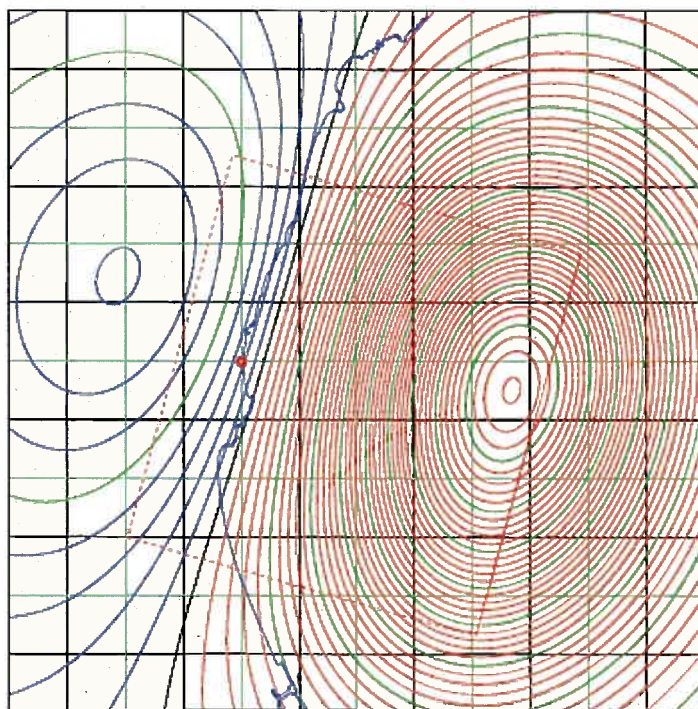
鹿島灘断層：基本モデル, 一様すべりモデル



上 : Okada(1992)、下 : 多層、コンター間隔 1cm

図 3.3-3(b) 地殻変動量分布図

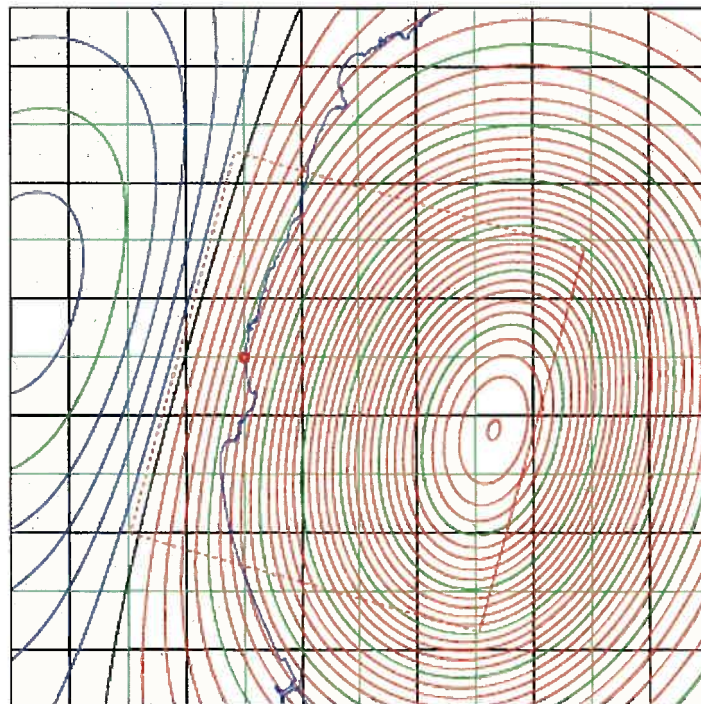
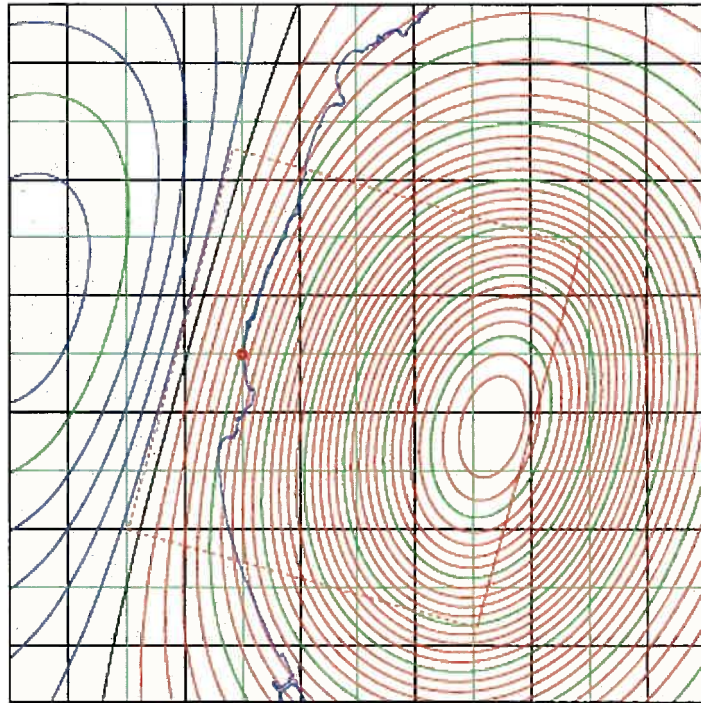
鹿島灘断層：断層位置の不確かさ, アスペリティーモデル



上 : Okada(1992)、下 : 多層、コンター間隔 1cm

図 3.3-3(c) 地殻変動量分布図

鹿島灘断層：断層位置の不確かさ，一様すべりモデル



上：Okada(1992)、下：多層、コンター間隔 1cm

図 3.3-3(d) 地殻変動量分布図

表 3.3-2(a) 地殻変動量及び最大傾斜
Okada(1992) : 建家
(鹿島灘断層:基本モデル, アスペリティモデル)

	Ux(cm) (+は北)	Uy(cm) (+は東)	Uz(cm) (+は上)	AA'傾斜*	BB'傾斜*	最大傾斜	方向
I	-1.93441	9.30281	-4.85599	23.30×10^{-7}	12.00×10^{-7}	26.39×10^{-7}	326
J	-1.93673	9.28118	-4.82958				
K	-1.94684	9.29591	-4.84058				
L	-1.94454	9.31754	-4.86702				

(鹿島灘断層:基本モデル, 一様すべりモデル)

	Ux(cm) (+は北)	Uy(cm) (+は東)	Uz(cm) (+は上)	AA'傾斜*	BB'傾斜*	最大傾斜	方向
I	-3.01297	6.23515	-0.29976	45.80×10^{-7}	0.62×10^{-7}	46.11×10^{-7}	298
J	-3.0207	6.21616	-0.24786				
K	-3.02623	6.22407	-0.24726				
L	-3.01855	6.24305	-0.29923				

(鹿島灘断層:断層位置の不確かさ, アスペリティモデル)

	Ux(cm) (+は北)	Uy(cm) (+は東)	Uz(cm) (+は上)	AA'傾斜*	BB'傾斜*	最大傾斜	方向
I	-1.7876	7.85363	-2.32025	53.93×10^{-7}	9.82×10^{-7}	55.18×10^{-7}	289
J	-1.78512	7.82198	-2.25915				
K	-1.78943	7.81823	-2.25008				
L	-1.79198	7.84988	-2.31129				

(鹿島灘断層:断層位置の不確かさ, 一様すべりモデル)

	Ux(cm) (+は北)	Uy(cm) (+は東)	Uz(cm) (+は上)	AA'傾斜*	BB'傾斜*	最大傾斜	方向
I	-1.53037	5.34256	5.10978	61.13×10^{-7}	14.29×10^{-7}	63.20×10^{-7}	286
J	-1.52876	5.33213	5.17908				
K	-1.52370	5.33151	5.19222				
L	-1.52538	5.3419	5.12288				

$$* : AA'傾斜 = \frac{0.5 \cdot [Uz(I) + Uz(L)] - 0.5 \cdot [Uz(J) + Uz(K)] \text{ cm}}{11340 \text{ cm}}$$

$$BB'傾斜 = \frac{0.5 \cdot [Uz(I) + Uz(J)] - 0.5 \cdot [Uz(K) + Uz(L)] \text{ cm}}{9180 \text{ cm}}$$

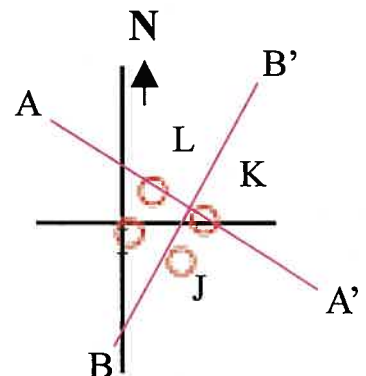


表 3.3-2(b) 地殻変動量及び最大傾斜

多層モデル：建家

(鹿島灘断層：基本モデル, アスペリティモデル)

	Ux(cm) (+は北)	Uy(cm) (+は東)	Uz(cm) (+は上)	AA'傾斜*	BB'傾斜*	最大傾斜	方向
I	-1.99335	10.48570	-4.66711	23.83×10^{-7}	11.18×10^{-7}	26.50×10^{-7}	324
J	-1.99588	10.46008	-4.64011				
K	-2.00740	10.47806	-4.65035				
L	-2.0049	10.50369	-4.67739				

(鹿島灘断層：基本モデル, 一様すべりモデル)

	Ux(cm) (+は北)	Uy(cm) (+は東)	Uz(cm) (+は上)	AA'傾斜*	BB'傾斜*	最大傾斜	方向
I	-3.26345	6.54246	-0.02557	47.20×10^{-7}	1.48×10^{-7}	47.54×10^{-7}	297
J	-3.27324	6.51877	0.02793				
K	-3.27916	6.52787	0.02931				
L	-3.26942	6.55155	-0.02424				

(鹿島灘断層：断層位置の不確かさ, アスペリティモデル)

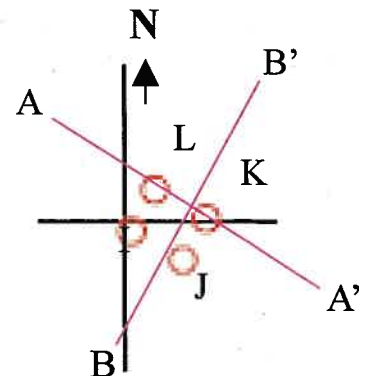
	Ux(cm) (+は北)	Uy(cm) (+は東)	Uz(cm) (+は上)	AA'傾斜*	BB'傾斜*	最大傾斜	方向
I	-1.89133	8.65909	-2.0038	54.81×10^{-7}	10.13×10^{-7}	56.11×10^{-7}	289
J	-1.88831	8.61851	-1.94171				
K	-1.89332	8.6135	-1.93234				
L	-1.89643	8.65408	-1.99457				

(鹿島灘断層：断層位置の不確かさ, 一様すべりモデル)

	Ux(cm) (+は北)	Uy(cm) (+は東)	Uz(cm) (+は上)	AA'傾斜*	BB'傾斜*	最大傾斜	方向
I	-1.54513	5.39619	5.59031	62.84×10^{-7}	14.69×10^{-7}	64.96×10^{-7}	286
J	-1.54337	5.38335	5.66151				
K	-1.53644	5.38281	5.67505				
L	-1.53828	5.39559	5.60374				

$$*: AA'傾斜 = \frac{0.5 \cdot [Uz(I) + Uz(L)] - 0.5 \cdot [Uz(J) + Uz(K)] \text{ cm}}{11340 \text{ cm}}$$

$$BB'傾斜 = \frac{0.5 \cdot [Uz(I) + Uz(J)] - 0.5 \cdot [Uz(K) + Uz(L)] \text{ cm}}{9180 \text{ cm}}$$



【参考文献】

- Okada, Y. (1992). Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space. Bulletin of the Seismological Society of America 82, 1018–1040.
- Wang, R., F. R. Martin, and F. Roth (2003). Computation of deformation induced by earthquakes in a multi-layered elastic crust—FORTRAN programs EDGRN/EDCMP, Computers & Geosciences, 29, 195–207.

4. まとめ

4.1 断層による津波に関する検討

今回検討を実施した想定鹿島灘の地震及び F3+F4b 断層では、想定鹿島灘の地震 CASE4 のアスペリティモデルが最大水位上昇量を示す結果となり、その高さは朔望平均満潮位 (T.P.+0.603m) を考慮して、原子力科学研究所側で T.P.+1.421m、核燃料サイクル工学研究所側で T.P.+1.487m であった。今回検討を実施した津波が陸上へ遡上することはないため、本津波による対象建家への影響はないことが分かった。

4.2 敷地近傍の活断層による地殻変動に伴う基礎地盤の傾斜に関する検討

核燃料サイクル工学研究所敷地近傍における F3+F4b 断層および鹿島灘断層による地殻変動に伴う建家基礎地盤の傾斜の解析結果のうち、最も大きい値となっているのは鹿島灘断層の断層位置の不確かさ、一様すべり (Wang の方法) の解析ケースであり、その値は建家の AA' 方向の 6.284×10^{-6} である。

1. 断層による津波に関する検討

＜津波解析モデル＞

津波解析モデル(地形データ)は、図 1-1～1-3 に示すように、沖合から順次 4320m→2160m→720m→240m 格子と細分化し、常陸那珂港周辺から東海サイトまで 80m→40m→20m→10m 格子と陸上地形や河川形状が模擬できるように現地調査結果を踏まえて詳細にモデル化した。

解析条件は表 1-1 に示すように、基礎方程式には非線形長波理論を用い、初期潮位として朔望平均満潮位 (T.P.+0.603m) を考慮して、津波発生後 180 分までの解析を実施した。

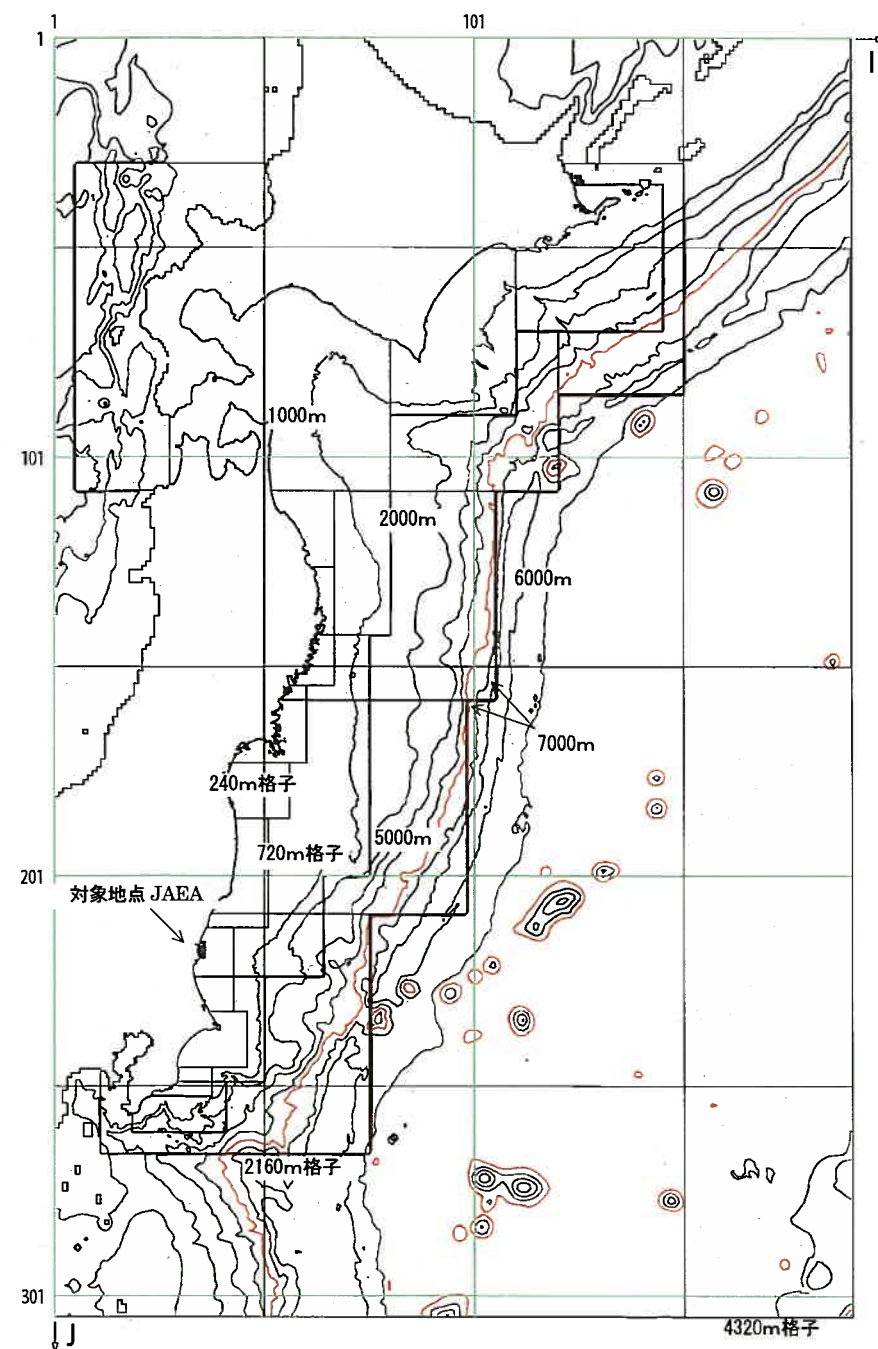


図 1-1 全体解析領域及び格子分割

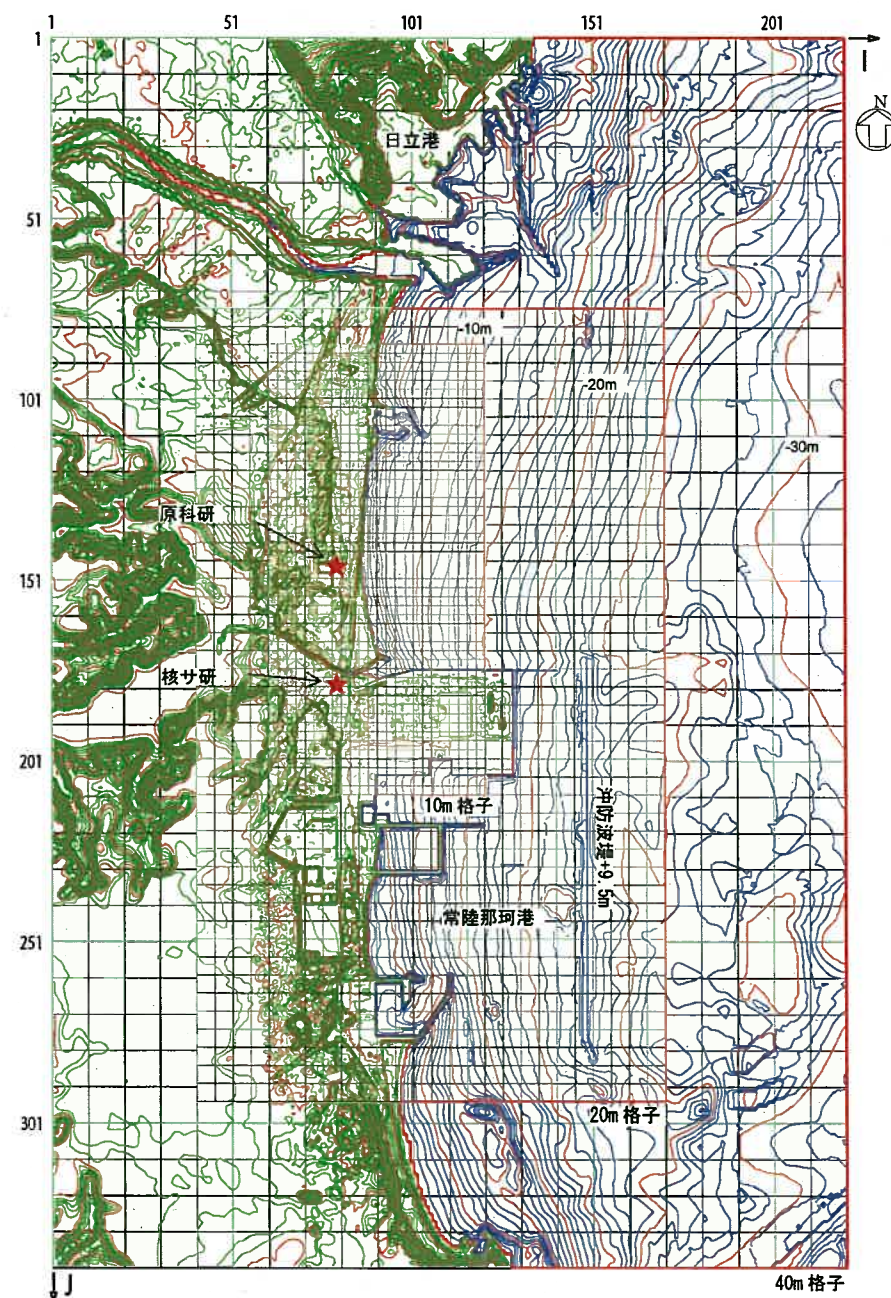


図 1-2 東海サイト周辺の格子分割

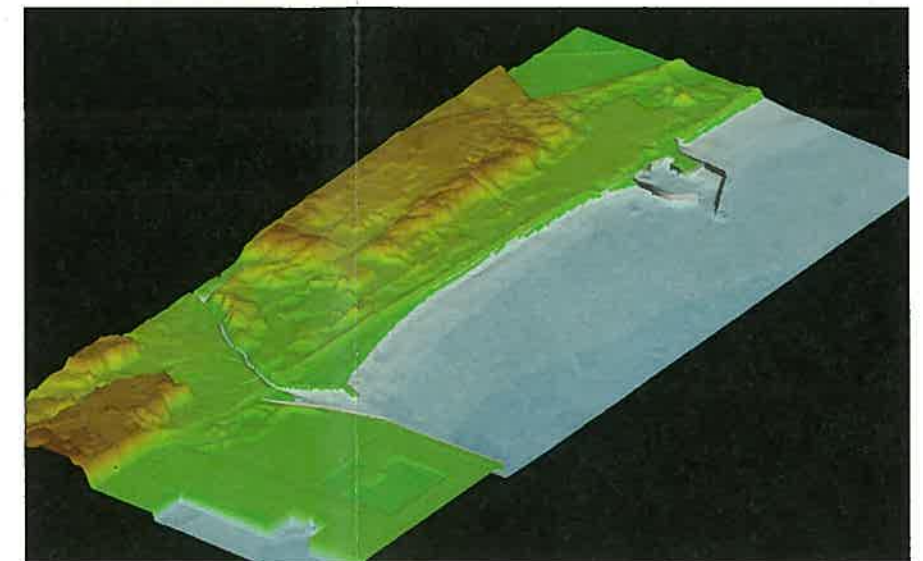


図 1-3 東海サイト周辺の 3D イメージ(10m 格子)

表 1-1 津波解析条件

基礎方程式	非線形長波理論
計算スキーム ²⁾	スタaggerド格子, リープ・フロッグ法
初期変位量	Mansinha and Smylie の方法 ³⁾
境界条件	沖側: 自由透過, 陸側: 完全反射 (240m メッシュ以上)
越流条件	防波堤: 本間公式 ⁴⁾ , 護岸: 相田公式 ⁵⁾
潮位条件	朔望平均満潮位 H. W. L. = T. P. +0.603m
計算時間間隔	$\Delta t = 0.25$ 秒
計算時間	津波発生後 180 分間

注 1) 図中の数字は TP (m) で表示
注 2) 等高線及び水深線は 1m ピッチ表示
注 3) 格子の線は 10 格子ごとに表示

<想定鹿島灘の地震に関する検討>

鹿島灘の地震に関して、表 1-2 に示すアスペリティモデル及び表 1-3 に示す一様滑りモデルに関する検討を実施した。

断層位置を図 1-4、アスペリティモデル CASE4 における東海サイト周辺の最大水位上昇量を図 1-5、真砂橋付近の水位時刻歴波形を図 1-6 に示す。最大水位上昇量はアスペリティモデルの CASE4 で、原子力科学研究所前面の海岸線が約 0.82m、核燃料サイクル工学研究所の真砂橋付近が約 0.88m であった。

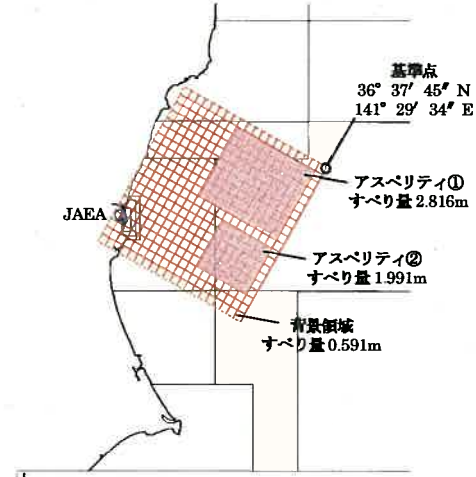
表 1-2 断層諸元 (想定鹿島灘の地震：アスペリティモデル)

ケース名	断層長さ (km)	断層幅 (km)	上縁深さ (km)	すべり量 (m)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)	走向 (°)
CASE4	68	68	32	①2.816 ②1.991 ③0.591	22	90	209
CASE7	68	68	35.2	①2.816 ②1.991 ③0.591	23	90	196

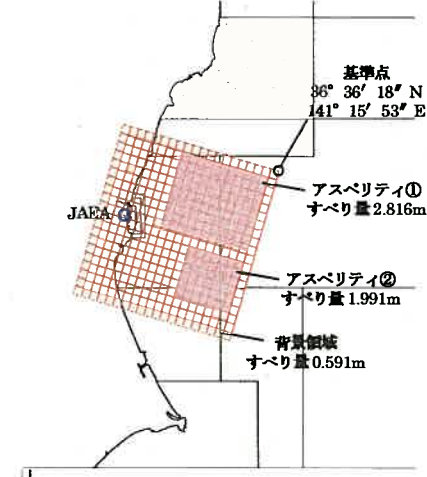
表 1-3 断層諸元 (想定鹿島灘の地震：一様すべりモデル)

ケース名	断層長さ (km)	断層幅 (km)	上縁深さ (km)	すべり量 (m)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)	走向 (°)
CASE4	68	68	32	1.271	22	90	209
CASE7	68	68	35.2	1.271	23	90	196

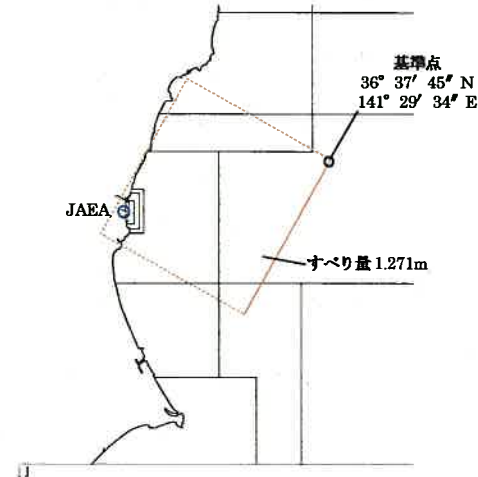
アスペリティモデル (CASE4)



アスペリティモデル (CASE7)



一様すべりモデル (CASE4)



一様すべりモデル (CASE7)

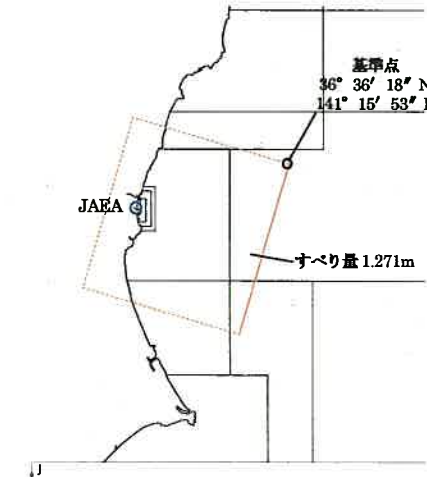


図 1-4 断層位置 (想定鹿島灘の地震)

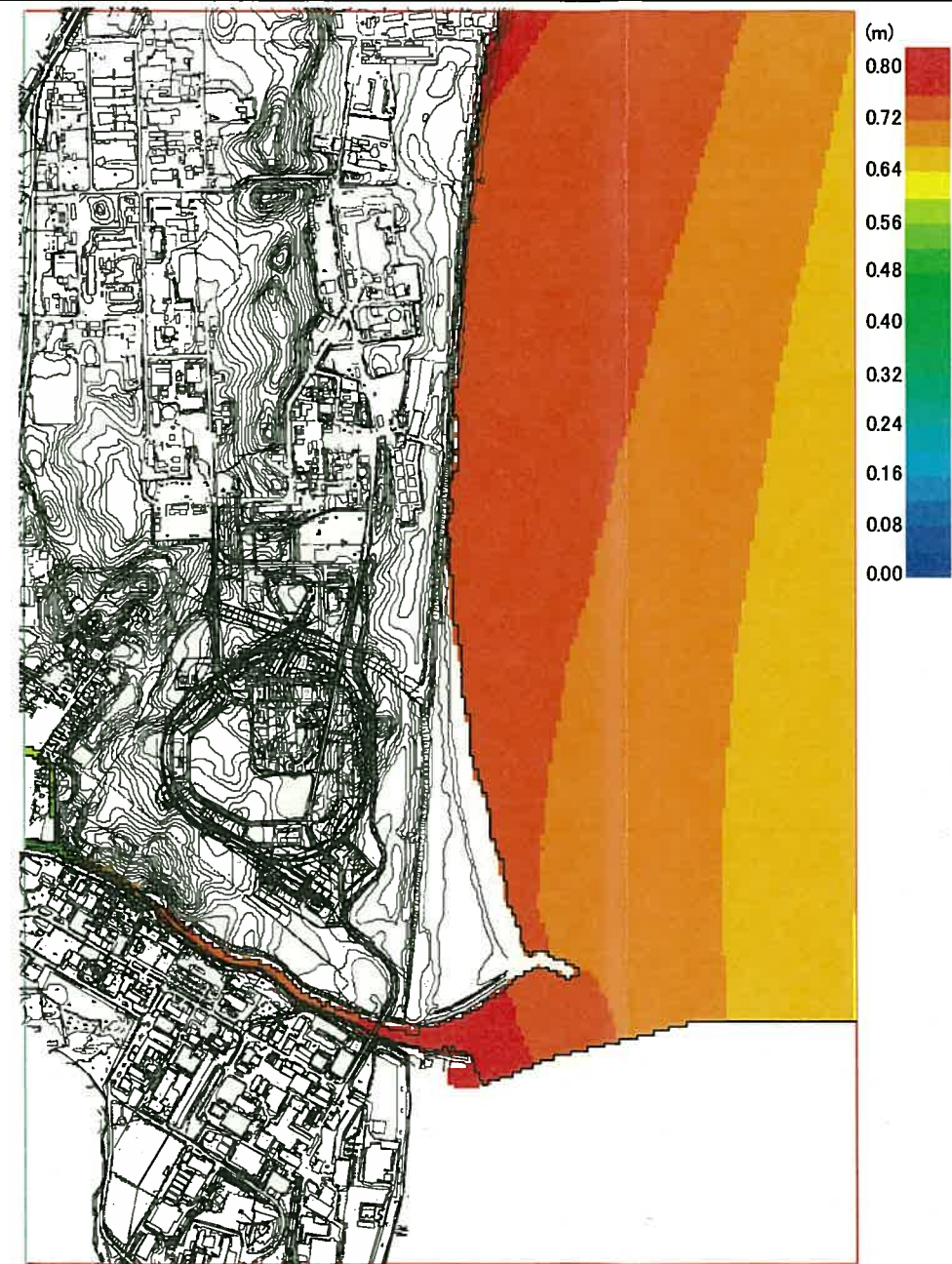


図 1-5 最大水位上昇量分布 (想定鹿島灘の地震：アスペリティモデル CASE4)

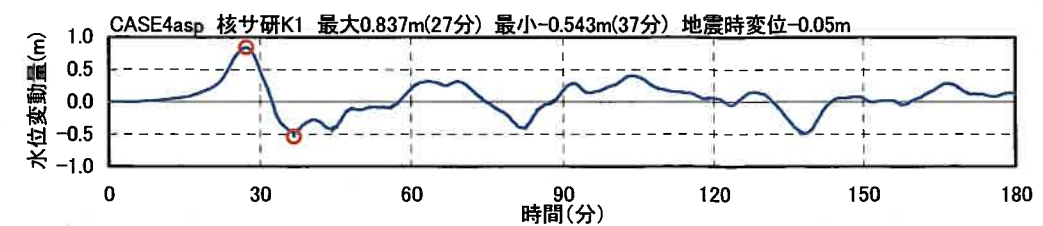


図 1-6 真砂橋付近の水位時刻歴波形 (想定鹿島灘の地震：アスペリティモデル CASE4)

＜海域 F3+F4b 断層に関する検討＞

海域 F3+F4b 断層に関して、表 1-4 に示すアスペリティモデル及び表 1-5 に示す一様すべりモデルに関する検討を実施した。
断層位置を図 1-7、一様すべりモデル CASE2 における東海サイト周辺の最大水位上昇量を図 1-8、真砂橋付近の水位時刻歴波形を図 1-9 に示す。最大水位上昇量は一様すべりモデル CASE2 で、原子力科学研究所前面の海岸線が約 0.10m、核燃料サイクル工学研究所の真砂橋付近が約 0.08m であった。

表 1-4 断層諸元 (海域 F3+F4b 断層：アスペリティモデル)

ケース名	断層長さ (km)	断層幅 (km)	上縁深さ (km)	すべり量 (m)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)	走向 (°)
CASE1	16	14	4	0.325 0.812	60	90	200.8
CASE2	17	17	4	0.369 0.923	45	90	200.8

表 1-5 断層諸元 (海域 F3+F4b 断層：一様すべりモデル)

ケース名	断層長さ (km)	断層幅 (km)	上縁深さ (km)	すべり量 (m)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)	走向 (°)
CASE1	16	18.48	0	0.307	60	90	200.8
CASE2	17	22.63	0	0.347	45	90	200.8

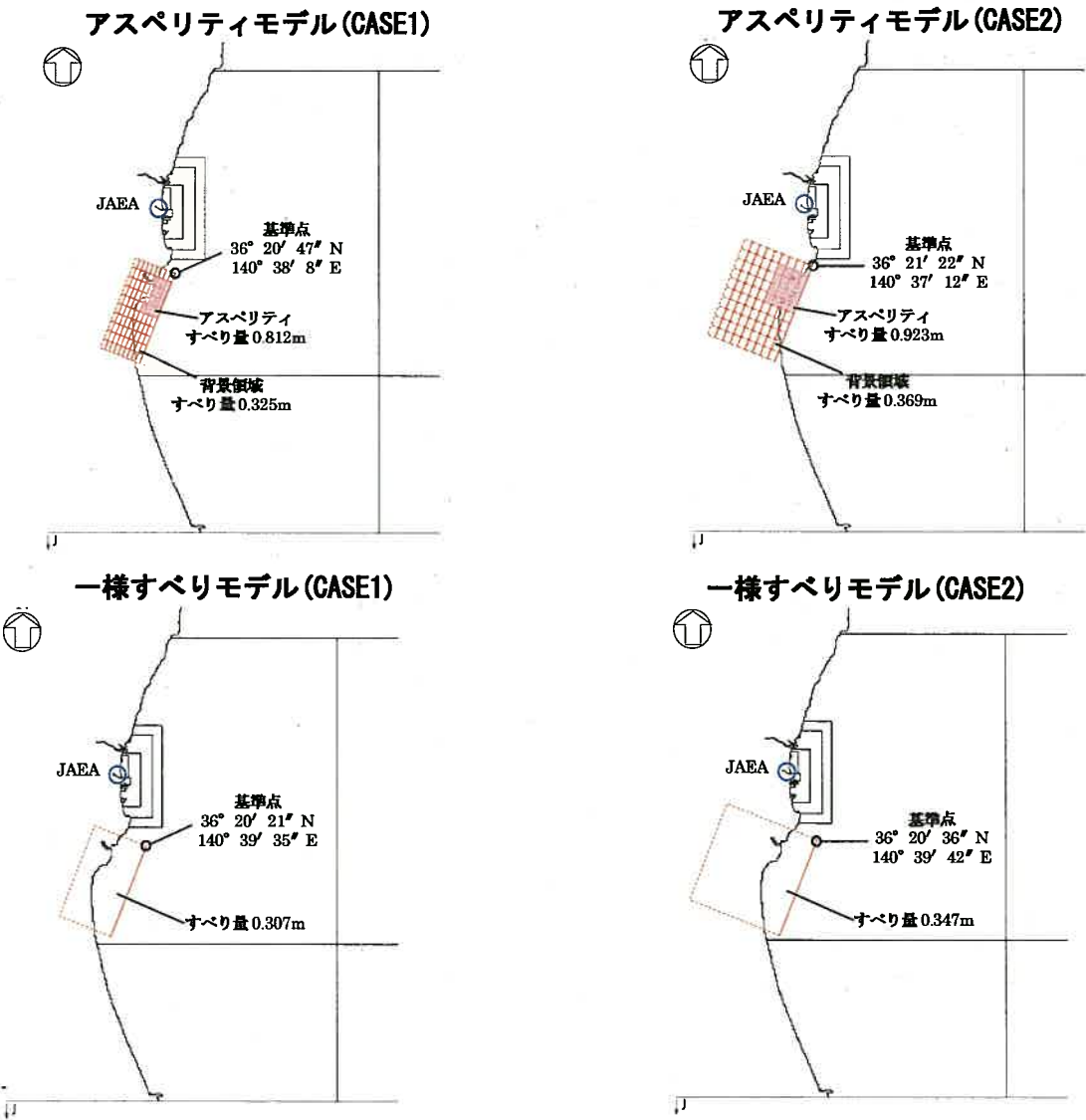


図 1-7 断層位置 (海域 F3+F4b 断層)

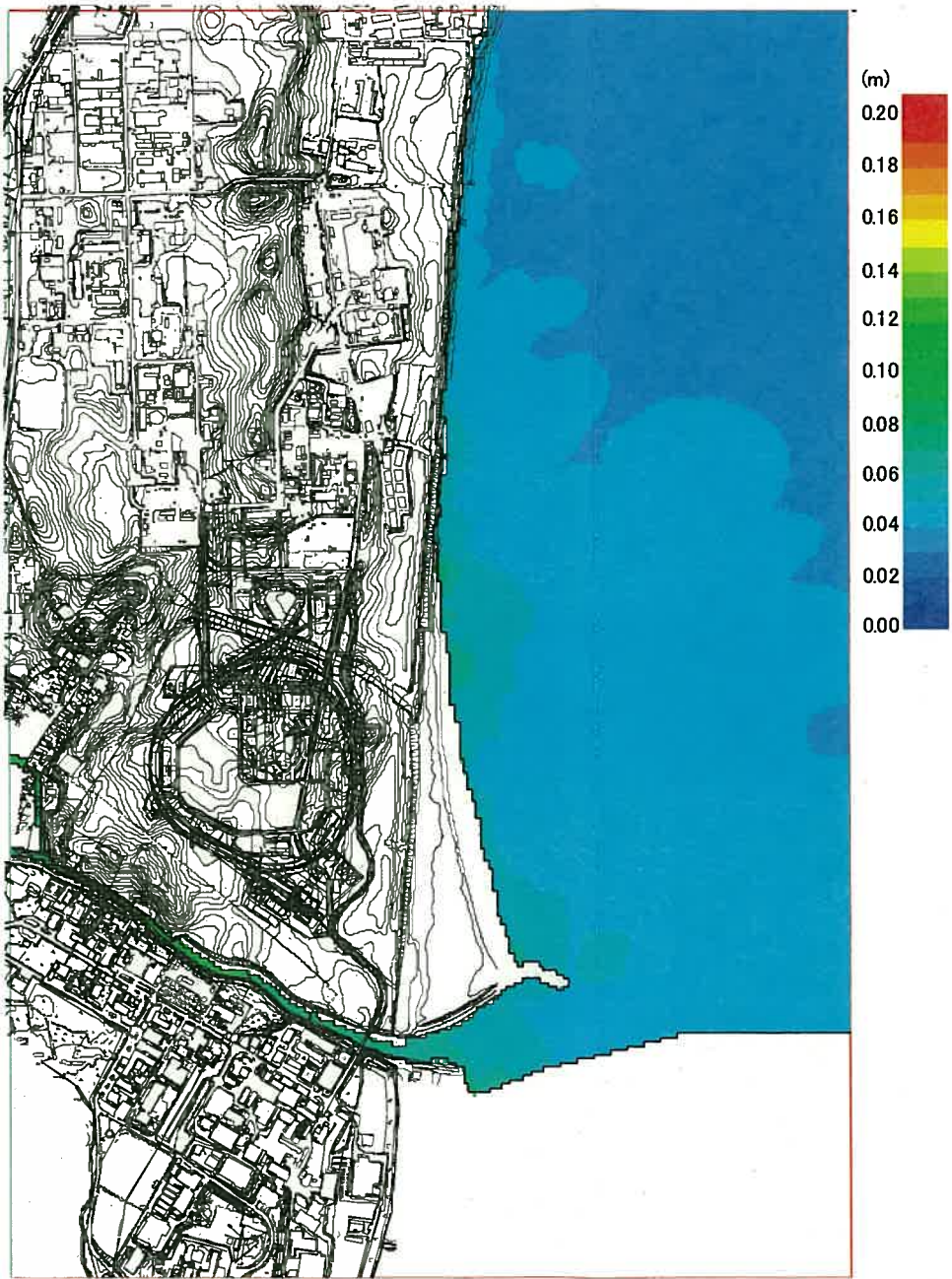


図 1-8 最大水位上昇量分布 (海域 F3+F4b 断層：一様すべりモデル CASE4)

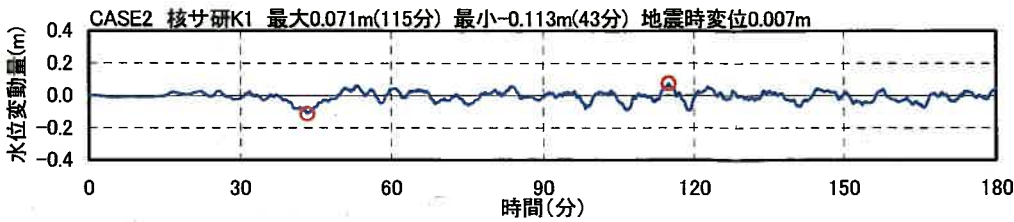


図 1-9 真砂橋付近の水位時刻歴波形 (海域 F3+F4b 断層：一様すべりモデル CASE4)

＜まとめ＞
想定鹿島灘の地震及び F3+F4b 断層による検討結果を図 1-10 に示す位置において評価した。評価結果を表 1-6 に示す。今回検討では、想定鹿島灘の地震 CASE4 のアスペリティモデルが最大水位上昇量を示す結果となり、その高さは朔望平均満潮位（T.P.+0.603m）を考慮して、原子力科学研究所側で T.P.+1.421m，核燃料サイクル工学研究所側で T.P.+1.487m であった。

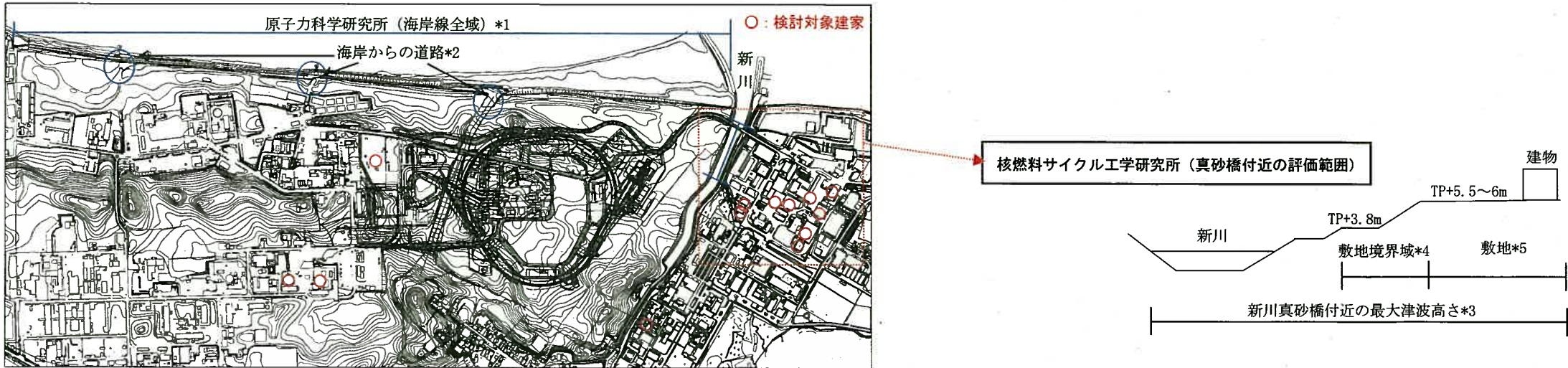


図 1-10 津波評価結果の対象位置

表 1-6 津波評価結果

対 象 津 波		原子力科学研究所			核燃料サイクル工学研究所			
		海岸線全域の 最大津波高さ*1 (T. P. m)	海岸から進入通 路の浸水*2 浸水深(m)	対象建家の浸水 浸水深(m)	真砂橋付近の 最大津波高*3 (T. P. m)	真砂橋付近の 敷地境界域 (T. P. +3. 8m)*4 の 浸水(m)	敷地(T. P. +5. 5～ 6m)の浸水*5	対象建家の浸水 浸水深(m)
鹿島灘の 地震	CASE4 (アスペリティモデル)	1. 421	なし	なし	1. 487	なし	なし	なし
	CASE7 (アスペリティモデル)	1. 278	なし	なし	1. 348	なし	なし	なし
	CASE4 (一様すべりモデル)	1. 135	なし	なし	1. 176	なし	なし	なし
	CASE7 (一様すべりモデル)	0. 983	なし	なし	1. 024	なし	なし	なし
海域 F3+F4b 断層	CASE1 (アスペリティモデル)	0. 625	なし	なし	0. 634	なし	なし	なし
	CASE2 (アスペリティモデル)	0. 630	なし	なし	0. 623	なし	なし	なし
	CASE1 (一様すべりモデル)	0. 701	なし	なし	0. 687	なし	なし	なし
	CASE2 (一様すべりモデル)	0. 699	なし	なし	0. 685	なし	なし	なし

2. 敷地近傍の活断層による地殻変動に伴う基礎地盤の傾斜に関する検討

地盤を半無限弾性体と仮定し、耐震設計上考慮する断層面の食い違いによって地表に生じる変動量から、建家に生じる傾斜を求める。

1. 解析パラメータの設定

断層の入力パラメータ

緯度、経度、断層長さ、幅、上端深さ、走向、傾斜角、すべり角、すべり量

地盤構造の入力パラメータ

地層の数、層厚、密度、S波速度、P波速度

建家の入力パラメータ

建家の座標

2. 地殻変動解析の実施

Wang et al. (2003)の方法

対象地盤を、等方で均質な多層の弾性体と仮定し、設定する不連続面(すべり面)において変位量(食い違い量)を与えた時の弾性体の変形を解析する方法。予め点震源のグリーン関数を計算し、断層を点震源の集合として地殻変動を計算する。

Okada(1992)の方法

対象地盤を、等方で均質な半無限の弾性体と仮定し、設定する不連続面(すべり面)において変位量(食い違い量)を与えた時の弾性体の変形を厳密解によって求める方法。ラメの定数 $\lambda = \mu$ とした場合、津波計算で用いるMansinha & Smylie(1971)の方法と等価になる。

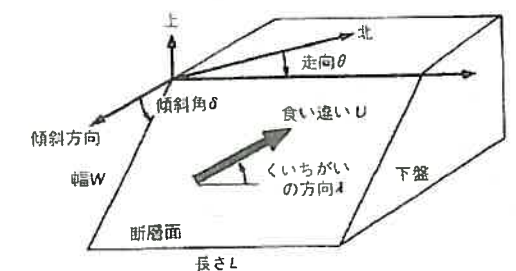
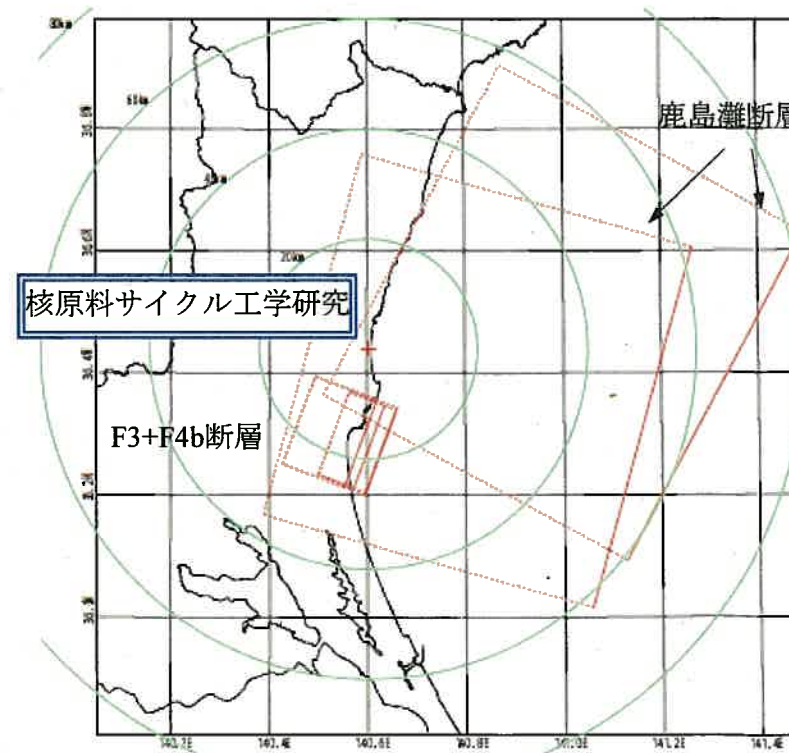
Wang et al. (2003)のプログラムは、両方の計算ができるようになっている。

3. 解析結果の評価

建家4隅の変位量から最大傾斜角を求め許容量と比較する。

表 2-1 断層諸元

計算ケース	断層の諸元								
	緯度(°)	経度(°)	長さ(km)	幅(km)	上端深さ(km)	走向(°)	傾斜角(°)	すべり角(°)	すべり量(m)
F3+F4b断層 (基本モデル)	N36.3464	E140.6356	16.0	14.0	4.0	200.8	60	90	アスペリティ:0.812 背景領域:0.325
F3+F4b断層 (一様すべり)	N36.3392	E140.6597	16.0	18.4 8	0.0	200.8	60	90	0.307
F3+F4b断層 (傾斜角の不確かさ)	N36.3561	E140.6200	17.0	17.0	4.0	200.8	45	90	アスペリティ:0.923 背景領域:0.369
F3+F4b断層 (傾斜角の不確かさ) (一様すべり)	N36.3433	E140.6617	17.0	22.6 3	0.0	200.8	45	90	0.347
鹿島灘断層 (基本モデル)	N36.6292	E141.4928	68.0	68.0	32.0	209.0	22	90	アスペリティ 1:2.816 アスペリティ 2:1.991 背景領域:0.591
鹿島灘断層 (一様すべり)	N36.6292	E141.4928	68.0	68.0	32.0	209.0	22	90	1.271
鹿島灘断層 (断層位置の不確かさ)	N36.6050	E141.2647	68.0	68.0	35.2	196.0	23	90	アスペリティ 1:2.816 アスペリティ 2:1.991 背景領域:0.591
鹿島灘断層 (断層位置の不確かさ) (一様すべり)	N36.6050	E141.2647	68.0	68.0	35.2	196.0	23	90	1.271



断層パラメータ(佐藤編 1989)

図 2-1 食い違い弾性論による地殻変動解析の流れ

図 2-2 断層位置

<まとめ>

核燃料サイクル工学研究所敷地近傍における F3+F4b 断層および鹿島灘断層による地殻変動に伴う建家基礎地盤の傾斜の解析結果のうち、最も大きい値となっているのは鹿島灘断層の断層位置の不確かさ、一様すべり (Wang の方法) の解析ケースであり、その値は建家の AA'方向の 62.84×10^{-7} である。

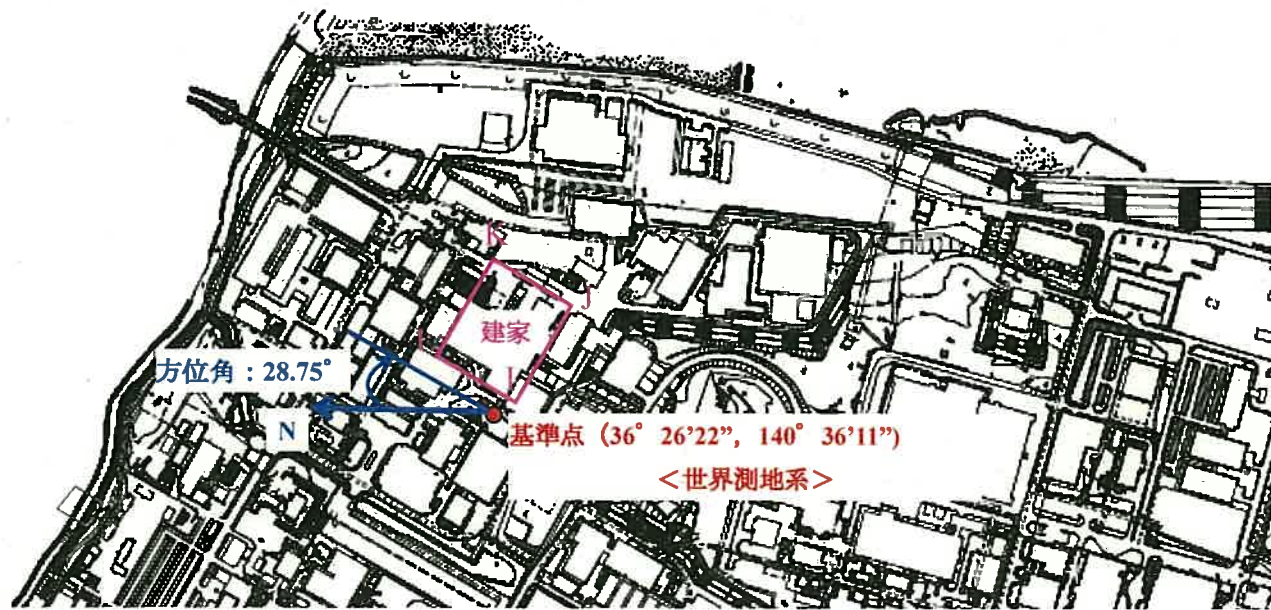


図 2-3 核燃料サイクル工学研究所構内平面図

表 2-2 検討に用いた地盤構造モデル (Okada の方法では、このデータを用いない)

上面深度(m)	層厚(m)	密度 $\rho(t/m^3)$	S 波速度 $V_s(m/s)$	P 波速度 $V_p(m/s)$
0.00	3.00	1.950	120	300
3.00	1.97	1.800	230	710
4.97	11.03	1.806	470	1675
16.00	52.00	1.806	540	1725
68.00	30.00	1.802	510	1715
98.00	26.00	1.803	565	1745
124.00	51.00	1.764	545	1760
175.00	46.00	1.728	590	1780
221.00	46.00	1.743	635	1820
267.00	42.00	1.763	665	1850
309.00	338.00	1.713	700	1855
647.00	323.00	2.110	1200	2608
970.00	9.00	2.240	1500	3103
979.00	21.00	2.420	2000	3949
1000.00	10.00	2.570	2500	4804
1010.00	3790.00	2.660	2900	5492
4800.00	11200.00	2.700	3600	5960
16000.00	∞	2.800	4170	6810

表 2-3 解析結果

	AA'傾斜*	AA'傾斜*
F3+F4b 断層(基本モデル, Wang の方法)	3.99×10^{-7}	26.60×10^{-7}
F3+F4b 断層(基本モデル, Okada の方法)	3.66×10^{-7}	26.69×10^{-7}
F3+F4b 断層(一様すべり, Wang の方法)	1.38×10^{-7}	19.83×10^{-7}
F3+F4b 断層(一様すべり, Okada の方法)	0.04×10^{-7}	19.93×10^{-7}
F3+F4b 断層(傾斜角の不確かさ, Wang の方法)	2.07×10^{-7}	40.17×10^{-7}
F3+F4b 断層(傾斜角の不確かさ, Okada の方法)	2.30×10^{-7}	39.90×10^{-7}
F3+F4b 断層(傾斜角の不確かさ, 一様すべり, Wang の方法)	2.13×10^{-7}	28.23×10^{-7}
F3+F4b 断層(傾斜角の不確かさ, 一様すべり, Okada の方法)	4.15×10^{-7}	28.05×10^{-7}
鹿島灘断層(基本モデル, Wang の方法)	23.83×10^{-7}	11.18×10^{-7}
鹿島灘断層(基本モデル, Okada の方法)	23.30×10^{-7}	12.00×10^{-7}
鹿島灘断層(一様すべり, Wang の方法)	47.20×10^{-7}	1.48×10^{-7}
鹿島灘断層(一様すべり, Okada の方法)	45.80×10^{-7}	0.62×10^{-7}
鹿島灘断層(断層位置の不確かさ, Wang の方法)	54.81×10^{-7}	10.13×10^{-7}
鹿島灘断層(断層位置の不確かさ, Okada の方法)	59.93×10^{-7}	9.82×10^{-7}
鹿島灘断層(断層位置の不確かさ, 一様すべり, Wang の方法)	62.84×10^{-7}	14.69×10^{-7}
鹿島灘断層(断層位置の不確かさ, 一様すべり, Okada の方法)	61.13×10^{-7}	14.29×10^{-7}

* : $AA' \text{傾斜} = \frac{0.5 \cdot [U_z(I) + U_z(L)] - 0.5 \cdot [U_z(J) + U_z(K)] \text{cm}}{11340 \text{cm}}$

$BB' \text{傾斜} = \frac{0.5 \cdot [U_z(I) + U_z(J)] - 0.5 \cdot [U_z(K) + U_z(L)] \text{cm}}{9180 \text{cm}}$

$U_z(i)$: i 点の鉛直変位 (i=I,J,K,L)

赤色 : 最大傾斜値

件 名	2 1 核サ研 地震随件事象の調査解析業務（津波）（その 2）
日 時	平成 22 年 1 月 26 日、午後 1 時 30 分～2 時 00 分
場 所	（独）日本原子力開発機構 東海研究開発センター
出席者	日本原子力開発機構 建設部 施設技術課 山崎課長代理、 ■■■■ 担当、 ■■■■ 氏 東電設計株式会社 事業部 ■■■■■■■■■■ 、 ■■■■
資 料	・実施計画書 他
議 事 内 容	
1. 着手にあたって 先週 20 日にメール送信し、確認していただいた着手書類（実施計画書：3 部、着手届及び総括責任者届：各 1 部）を提出し、受領された。 実施計画書に記載されている担当者については、詳しい連絡先（各人のメールアドレス）を教えるよう依頼された。 2. 今後の進め方について 弊社担当者に対して、業務内容、スケジュール等に関する指示をメール等で行っていただくようお願いした。 以 上	

件 名	2 1 核サ研 地震随件事象の調査解析業務（津波）（その 2）
日 時	平成 22 年 2 月 9 日、午前 10 時 30 分～11 時 45 分
場 所	東電設計株式会社 3 階会議室
出席者	日本原子力開発機構 建設部 施設技術課 山崎課長代理、 ■■■■ 氏 東電設計株式会社 社会基盤推進部 ■■■■ ■■■■ 耐震技術部 ■■■■ ■■■■
資 料	打ち合わせ資料
議 事 内 容	
1. 対象地震に関して (1) 想定鹿島灘の地震 - 対象とするケースは、提示資料 CASE4 及び CASE7 のアスペリティモデルと一様すべりモデルの計 4 ケースとする。 (2) 海域 F3-F4b 断層の地震 - 対象とするケースは、提示資料の CASE1 及び CASE2 のアスペリティモデルと一様すべりモデルの計 4 ケースとする。 - 断層下端深さは 16km とする。 - 一様すべりモデルの剛性率は $3.5 \times 10^{10}(\text{N/m}^2)$ とする。また地震モーメントは提示資料記載値を用いる。 2. 地殻変動解析に関して ■■■■氏から、分離精製工場の主排気筒の位置（緯度経度値）の提示があった。これを基準として、分離精製工場を囲む 4 点を決定し、傾斜角を算定する。 - 多層モデル解析用に、地表付近の地層構造データを後日提示する。 以 上	