

第 8 章 戸建て住宅基礎の品質等に関する検討

8.1 はじめに

現状で、長期優良住宅としての評価基準には基礎・地盤に対する表示項目が含まれていないが、木造建築物を長期優良住宅として位置づけることを想定した場合、「基礎・地盤に関する性能表示項目」及び「評価軸を適切なものとするための検討」が必要である。そこで、平成21年度、平成22年度に、次の項目について検討を行った。なお、以降は当事業とは別に検討を継続している。

8.2 平成21年度の検討

以下の2項目について検討を行った。

1) 地盤の品質及び性能に関する検討

建築物を長期に使用する上で、宅地地盤の安定性を表示項目として考えた場合、戸建て住宅について主流である簡易な地盤調査として、スウェーデン式サウンディング試験方法(JIS A1221、SWS試験)の精度等の評価が課題である。また、このとき、令第93条等の規定に従って地盤の許容応力度などを算出するにあたって、同条の表にある「(地震時に)液状化のおそれのないもの」についても、適切な評価・判定が行われるための検討が必要と考えられる。そこで、SWS試験程度を前提とし、以下の2点の小課題を設けて検討を行った。

- ①スウェーデン式サウンディング試験方法の標準化
- ②中地震時における液状化発生の判定手法

2) 木造基礎の構造性能に関する検討

地盤と同様に、基礎に関しても構造耐力上の性能を表示項目として考えた場合、基準法上の最低要求(品確法における等級1相当)の基準をどのように位置づけるかが課題である。そこで、一般的な戸建て住宅の基礎を想定し、以下の3点の小課題を設けて検討を行った。

- ①住宅の基礎形式と接地圧との関係
- ②住宅基礎のコンクリートの品質
- ③住宅基礎の立上り部分の構造性能

これらの実施項目のうち、2)①については、長期荷重に対する住宅基礎の沈下・傾斜等に関する検討が行われた。そこで、平成22年度は、地震による短期荷重に対する住宅基礎の沈下・傾斜等に関する検討が行われることとなった。

8.3 平成 22 年度の検討

8.3.1 調査の目的

本調査の目的は、地震時における住宅基礎の沈下量及び傾斜量を確認し、住宅基礎の剛性や地盤の変形が住宅の沈下特性に与える影響を確認することである。

8.3.2 調査の方法

本調査は、3次元静的有限要素法を用いたシミュレーション解析により行った。解析は、有限要素法による3次元応力解析ソフトウェア 3D-σ（株式会社地層科学研究所）を用いた。

8.3.3 解析に用いる住宅プラン

解析に用いた住宅プランは、平成 21 年度に実施された木造長期優良住宅の総合的検証委員会構造分科会による「戸建て住宅基礎検討 T G 調査報告」（以下、H21 基礎 T G 調査報告とする。）において、住宅基礎の長期応力等に関する検討に用いられているものと同じとした。H21 基礎 T G 調査報告において採用されている住宅プランは、接地圧が大きくなる事例として狭小地に建つ総 3 階建ての住宅プランと、接地圧のばらつきが大きくなる事例として偏心 2 階建ての住宅プランの 2 ケースがあり、本調査においても、これら 2 ケースで検討した。なお、これらの住宅プランは、当時の T G 委員（（社）プレハブ建築協会、（社）日本ツーバイフォー建築協会、（社）日本木造住宅産業協会）により、選定されたものである。

①プラン1（狭小地に建つ総3階建て住宅）

プラン1の平面・立面図を図3.1-1に示す。

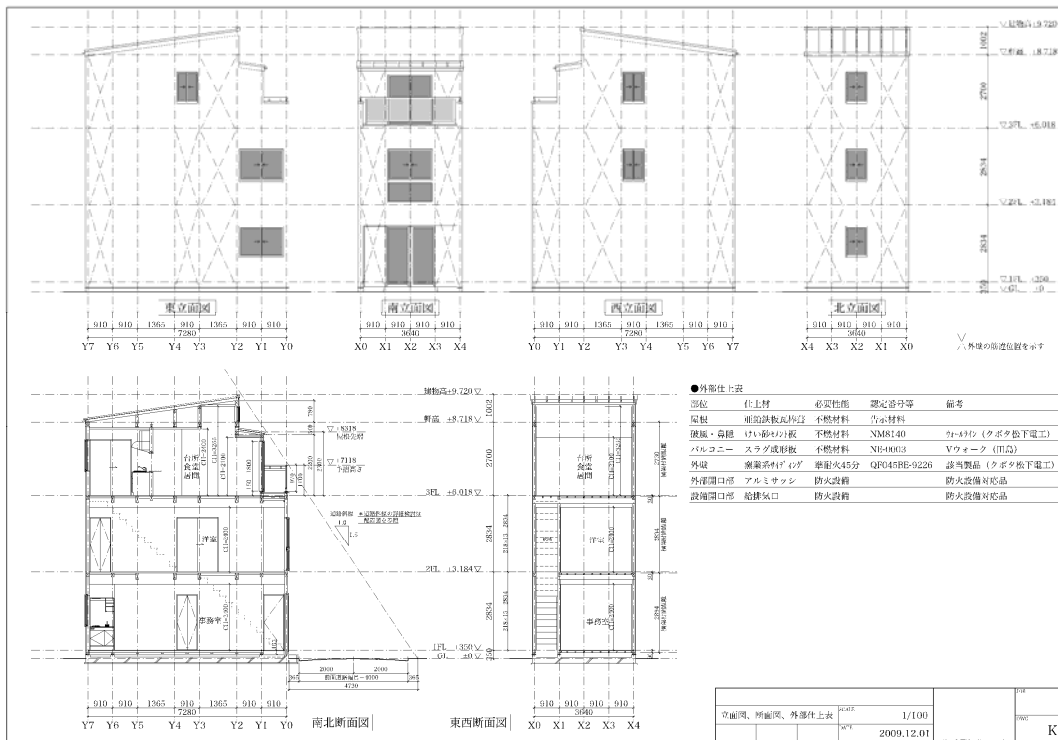
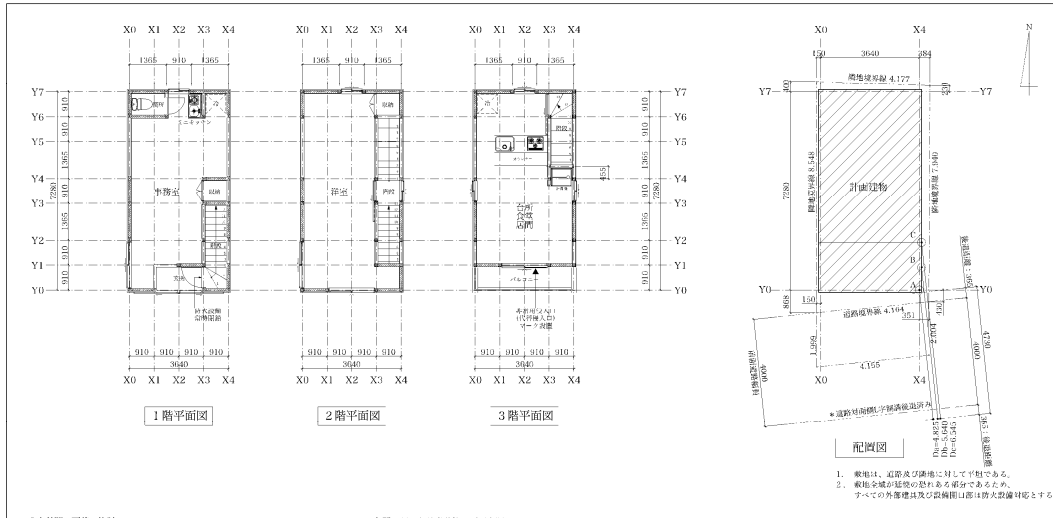


図3.1-1 プラン1（狭小地に建つ総3階）平面・立面図（H21基礎TG調査報告より）

②プラン2（偏心2階建て住宅）

プラン2の平面図を図3.1-2に示す。

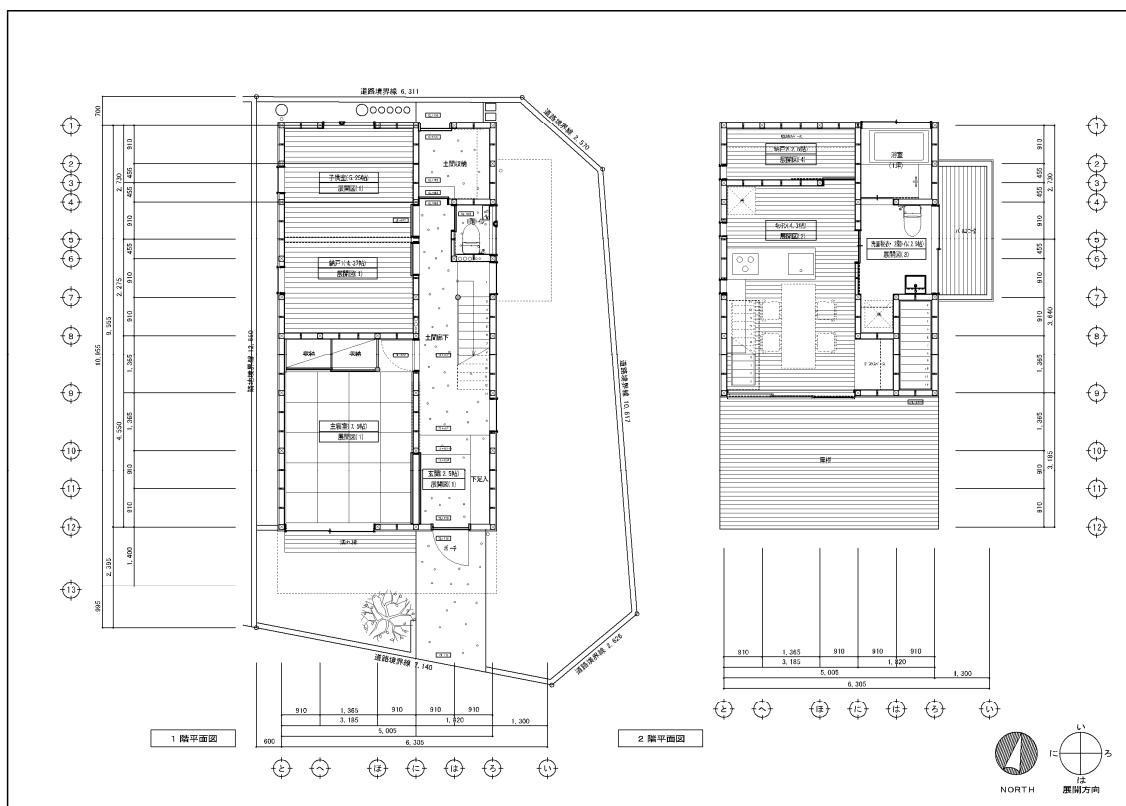


図3.1-2 プラン2（偏心2階建て）平面図（H21基礎TG調査報告より）

8.3.4 地震時外力

解析に用いた地震時外力は、H21 基礎TG調査時に作成された構造計算書より、住宅基礎に作用させる水平力と鉛直力を設定した。

解析において水平力は、基礎側面に等分布荷重として作用させた。水平力一覧表を表 3.2-1 に、水平力作用位置を図 3.2-1、3.2-2 に、それぞれ示す。

表 3.2-1 水平力一覧

住宅プラン	住宅基礎形式	地盤の許容応力度(想定)	加力方向 ^{※1}		水平力 kN	基礎寸法 ^{※2}		入力水平力 (等分布荷重) q kN/m ²
						高さ	長さ	
						mm	mm	
1 (総3F)	べた	20	X	+(右→左)	34.022	520	7400	8.84
			X	-(左→右)	34.022	520	7400	8.84
			Y	+(上→下)	34.022	520	3760	17.40
			Y	-(下→上)	34.022	520	3760	17.40
		30	X	+(右→左)	34.022	520	7400	8.84
		70	X	+(右→左)	34.022	520	7400	8.84
	布	20	X	+(右→左)	34.022	150	7880	28.78
		30	X	+(右→左)	34.022	150	7880	28.78
			X	-(左→右)	34.022	150	7880	28.78
			Y	+(上→下)	34.022	150	4240	53.49
			Y	-(下→上)	34.022	150	4240	53.49
		70	X	+(右→左)	34.022	150	7880	28.78
2 (偏心2F)	べた	20	X	+(右→左)	42.436	520	9675	8.43
			X	-(左→右)	42.436	520	9675	8.43
			Y	+(上→下)	42.436	520	5125	15.92
			Y	-(下→上)	42.436	520	5125	15.92
		30	Y	+(上→下)	42.436	520	5125	15.92
		70	Y	+(上→下)	42.436	520	5125	15.92
	布	20	X	+(右→左)	42.436	150	10005	28.28
		30	X	+(右→左)	42.436	150	10005	28.28
			X	-(左→右)	42.436	150	10005	28.28
			Y	+(上→下)	42.436	150	5455	51.86
			Y	-(下→上)	42.436	150	5455	51.86
		70	X	+(右→左)	42.436	150	10005	28.28

※1 : 「べた基礎—地盤の許容応力度 20kN/m²」、「布基礎—地盤の許容応力度 30kN/m²」の場合における解析の結果、相対沈下量及び傾斜角が最大となった加力方向（表中の背景塗りつぶし箇所）を確認し、他のケースについては、その加力方向のみの解析を行った。

※2 : べた基礎の場合は立ち上がり部側面の寸法、布基礎の場合は底盤側面の寸法を示す。

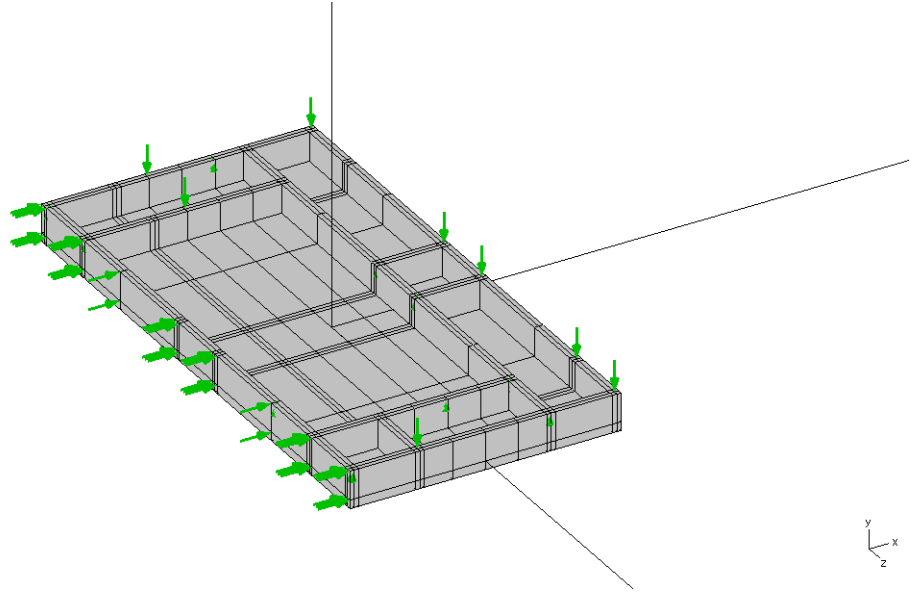


図 3.2-1 ベた基礎における水平力作用位置（立ち上がり部側面）

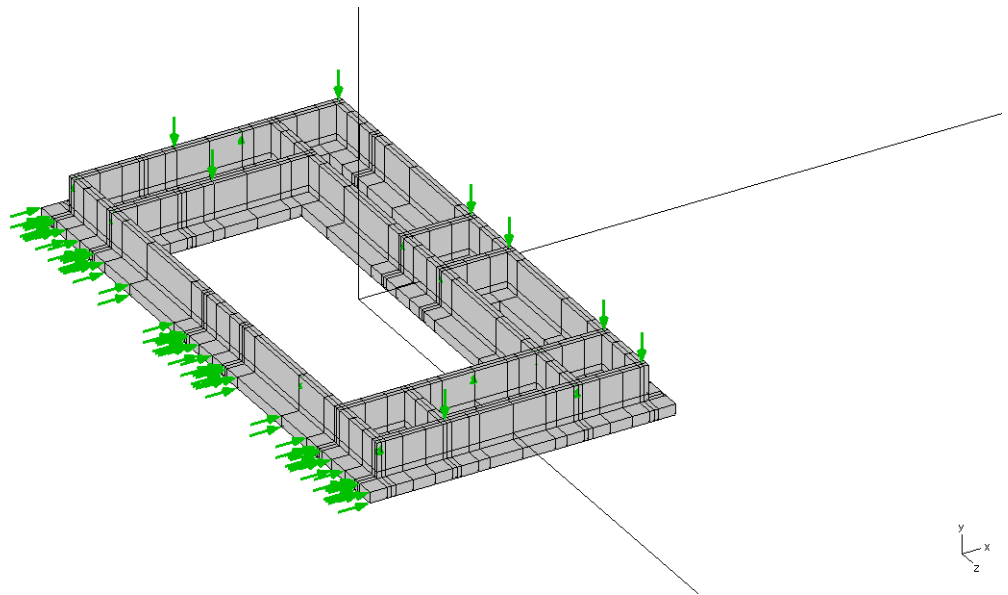


図 3.2-2 布基礎における水平力作用位置（底盤側面）

なお、水平力を等分布荷重として基礎側面に作用させることにより、基礎の水平変位がほぼ均等となった。これは、静的な水平力が与えられた場合、基礎底面全体の水平変位が等しくなるものと仮定している構造計算時の条件と同様の条件とするためである。等分布荷重を作用させた場合の基礎の水平変位分布図を図 3.2-3、3.2-4 に示す。

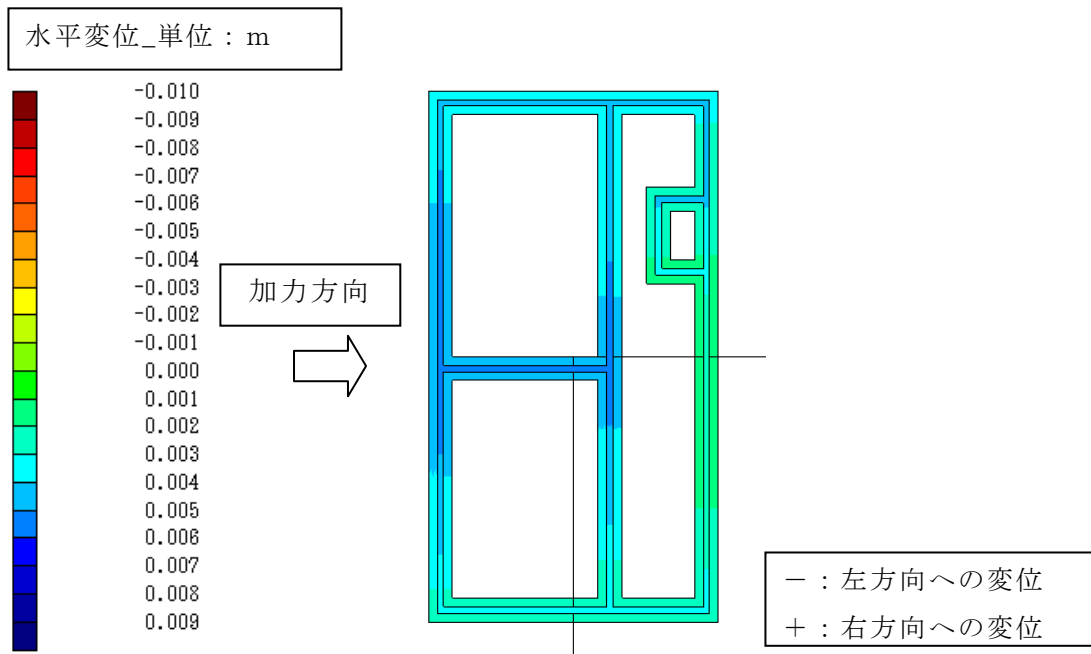


図 3.2-3 基礎の水平変位分布図（布基礎， $qa=30\text{kN/m}^2$ ）

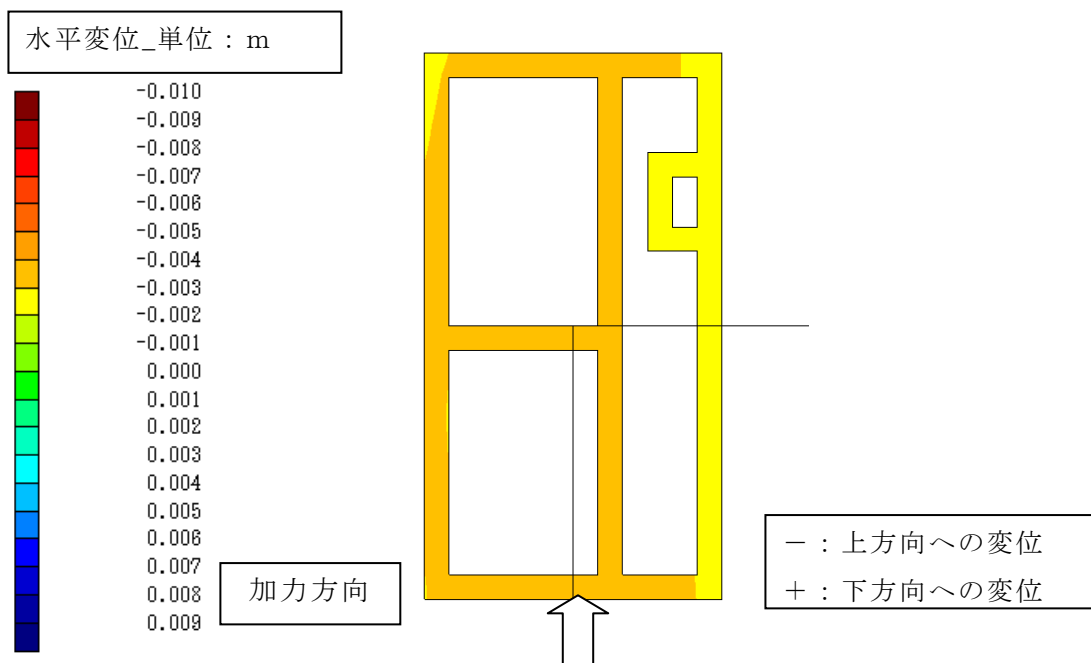


図 3.2-4 基礎の水平変位分布図（布基礎， $qa=30\text{kN/m}^2$ ）

8.3.5 解析に用いる基礎形式、地盤定数の設定

①基礎の形状・寸法

基礎形式は、布基礎及びべた基礎とし、その形状寸法は、H12-告示 1347 等に準じて、以下の通りとした。

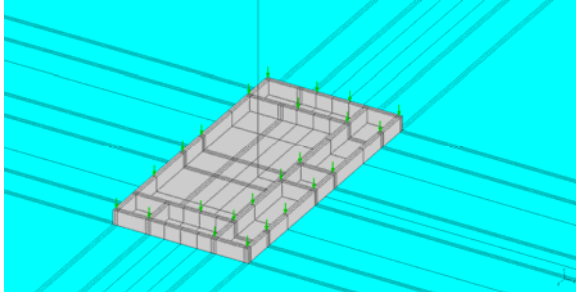


図 3.3-1 べた基礎のモデル例

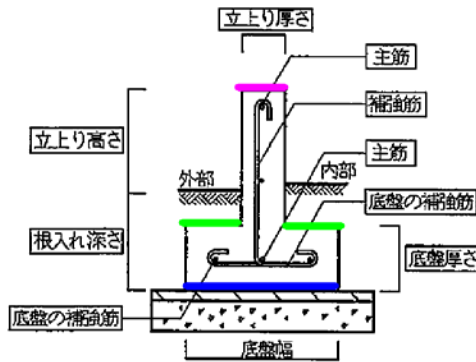


図 3.3-2 基礎の形状と名称

表 3.3-1 基礎寸法（赤枠内の数値を採用）

べた基礎の仕様

形状	(mm)			
	底盤厚さ	根入れ深さ	立上り高さ	立上り厚さ
告示1347号	120以上	120以上	300以上	120以上
スパン表	150・200	120以上	300以上 400以上	120以上
瑕疵担保法	150~200	—	300以上	—
金融公庫	—	—	400以上	120以上

配筋	底盤の補強筋	立上り壁主筋	補強筋
告示1347号	φ9以上 @300S以下	φ9以上 @300以下	D13以上
スパン表	D10@200S ~D13@	—	D10@300
瑕疵担保法	D13@250S ~D13@	—	—
金融公庫	—	—	—

布基礎の仕様

形状	(mm)				
	底盤幅	底盤厚さ	根入れ深さ	立上り高さ	立上り厚さ
告示1347号	告示による	150以上	240以上	300以上	120以上
スパン表	240 ~550	150	240	300以上 400以上	120以上
瑕疵担保法	—	—	—	300以上	—
金融公庫	450以上	150以上	240以上	400以上	120以上

配筋	底盤の補強筋	配筋	立上り壁主筋	補強筋
告示1347号	φ9以上 @300以下	φ9以上	D13以上	φ9以上 @300以下
スパン表	D10@300	D10	1-D13	D10@300
瑕疵担保法	—	—	—	—
金融公庫	D10以上 @300以下	D10以上	D13以上	D10以上 @300以下

地盤の長期に生ずる力に対する許容応力度 (単位 kN/m ²)	建築物の種類		
	木造又は鉄骨造その他これに類する重量の小さな建築物		その他の建築物
	平家建て	2階建て	
30以上50未満の場合	30	45	60
50以上70未満の場合	24	36	45
70以上の場合	18	24	30

②地盤定数

地盤定数は、H21 基礎 T G 調査報告と同じとした。採用した地盤定数を表 3.3-2 に示す。これらの地盤定数は、H21 に設定された地盤の許容応力度 (qa) 及びその閾値 (20、30、50、70kN/m²) に対応した N 値より、設定した。

表 3.3-2 地盤定数一覧表

	粘着力	内部摩擦角	ポアソン比	単位体積重量	ヤング係数	N 値	地盤の
	c	φ	ν	ρ	E		許容応力度
	kN/m ²	度		kN/m ³	N/mm ²		qa
住宅基礎	700.0	45.0	0.20	24.0	14000	—	—
表層地盤	0.0	24.0	0.35	7.5	0.7	1	20.0
	0.0	26.0	0.35	8.0	1.4	2	30.0
	0.0	24.0	0.30	18.0	3.4	4	50.0
	0.0	26.0	0.30	18.0	4.2	5	70.0
支持地盤	20.0	30.0	0.30	19.0	70.0	50	—

※埋め戻し土は、表層地盤と同じ定数を用いた。

なお、N 値は、地盤の許容応力度 (qa) から式(1)^{*1}、(2)^{*2}を用いて算定した。ただし、N_{sw} のばらつきを考慮して、式(2)における N_{sw} には、式(1)により求められた $\overline{N_{sw}}$ を 0.8 倍した値を与えた^{*3}。

$$q_a = 30 + 0.6\overline{N_{sw}} \quad (1)$$

$$N = 3W_{sw} + 0.05N_{sw} \quad (2)$$

$\overline{N_{sw}}$: スウェーデン式サウンディング試験による 1m あたりの半回転数 (回)

W_{sw} : スウェーデン式サウンディング試験に用いるおもりの重さ (kN)

ただし、qa=20kN/m² に対応する N 値を求める場合には、おもり 1kN よりスクリーポイントが自沈する地盤あることを表現するため、W_{sw} を 0.75kN とし、qa=30、50、70kN/m² の場合は、スクリーポイントが回転する地盤であることを表現するため、W_{sw} を 1.00kN とする。

※1: 平成 13 年国土交通省告示 1113 号第 2(3) 式

※2: 稲田倍穂 (1960), スウェーデン式サウンディング試験結果の使用について「土と基礎」2 月, p13-18.

※3: 基準法整備事業課題 (イ) 建築物 (上部構造) の規模又は構造に応じた地盤調査の方法の適用範囲に関する調査報告書 (平成 22 年度)

また、地盤定数のうち C、φ は、式(3)~(5)より、E は、式(6)より、それぞれ設定した。なお、表層地盤のヤング係数 E は、ひずみレベル (×10⁻³~10⁻⁴) に応じて低減 (×0.5~0.6) した値を採用している。

ただし、式(3)～(5)を用いて地盤の許容応力度を算出すると、基礎荷重面の短辺(B)に応じて、地盤パラメータ(強度)が異なることとなる。上部構造物の形状や基礎形式に応じて、地盤のパラメータ(強度)を変更すると、地盤パラメータ(強度)の違いによる定性的な挙動の変化を確認することが困難となるため、ここでは基礎荷重面の短辺(B)を解析に用いるプランのうちの最小値である 3.64m (プラン1) として地盤パラメータを設定した。また、任意の q_a に対する C 、 φ が最小となるよう、荷重の鉛直方向に対する傾斜角 θ には 0 度を与えている。

$$q_a = \frac{1}{3} (i_c \alpha C N_c + i_\gamma \beta \gamma_1 B N_\gamma + i_q \gamma_2 D_f N_q) \quad (3)$$

$$i_c = i_q = (1 - \theta/90)^2 \quad (4)$$

$$i_\gamma = i_q = (1 - \theta/\varphi)^2 \quad (5)$$

ここで、 q_a は地盤の許容応力度、 θ は基礎に作用する荷重の鉛直方向に対する傾斜角、 φ は基礎の特性によって求めた内部摩擦角、 α および β は基礎荷重面の形状に応じて与えられる係数、 C は基礎荷重面下にある地盤の粘着力、 B は基礎荷重面の短辺または短径、 N_c 、 N_γ および N_q は地盤内部の摩擦角に応じて決まる支持力係数、 γ_1 は基礎荷重面下にある地盤の単位体積重量または水中単位体積重量、 γ_2 は基礎荷重面より上方にある地盤の平均単位体積重量または水中単位体積重量、 D_f は基礎に近接した最低地盤面から基礎荷重面までの深さである。

ヤング係数は、式(6) ^{*4} に示す N 値との関係式を用いて設定した。

$$E = 1,400 \cdot N \quad (6)$$

※4：建築基礎構造設計指針（2001）

③構成モデル

家屋(基礎)	弾性体
土(表層地盤、支持地盤)	弾性体

④解析モデル

解析モデルの大きさは、解析モデル端部の境界条件の影響を受けないように十分な大きさを確保することとし、基礎から水平方向及び下方向に基礎幅の 5 倍ずつ確保した。なお、基礎幅は、今回の解析ケースのうち最大となる基礎幅 (10.005m) とほぼ同等の値として 10m とした (表 3.2-1 参照)。

解析モデルの全景と断面を図 3.3-3 に示す。同図には、設定したモデル材料毎に色分けをして表示している (図 3.3-3 凡例参照)。なお、緑色の部分は、拘束条件を与えている箇

所であり、モデル側面は鉛直方向に拘束とし、モデル底面は水平及び鉛直方向に拘束とした。

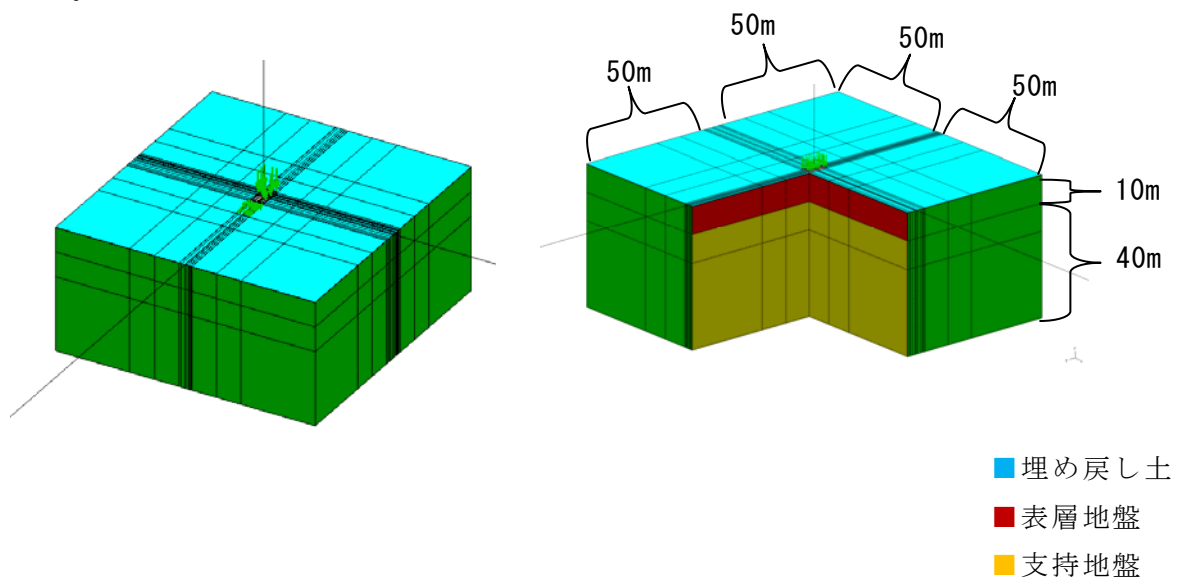


図 3.3-3 解析モデル（左：モデル全景、右：モデル断面）

8.4 調査の結果

①解析の結果

本調査結果の代表例として、建築基準法上、基礎形式毎に設計可能な最小の地盤の許容応力度（べた基礎の場合は 20kN/m^2 、布基礎の場合は 30kN/m^2 ）における解析結果を図 4-1～4-6 に示す。解析結果の図は、鉛直向変位分布、基礎上面（基礎を真上から見た場合）の応力分布、基礎下面（基礎を真下から見た場合）の応力分布の順に示している。

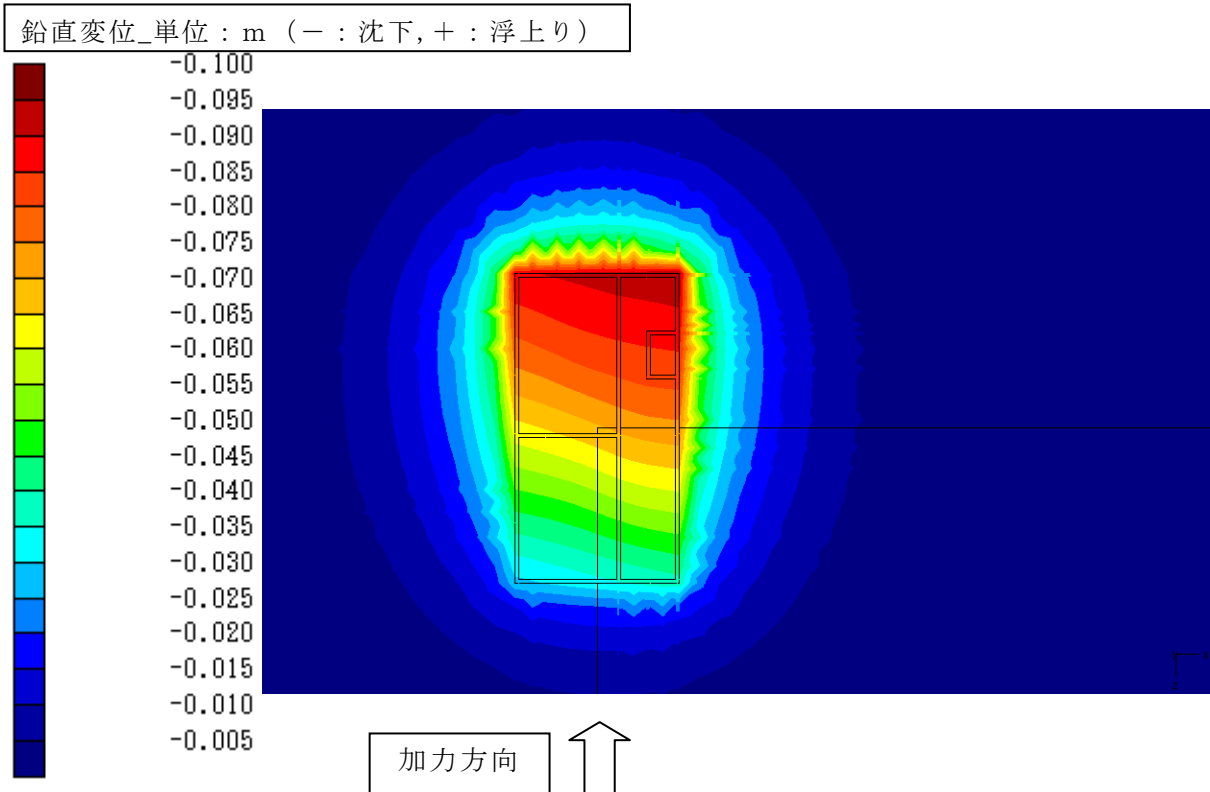


図 4-1 鉛直変位（住宅プラン 2（偏心 2F），べた基礎， $q_a=20\text{kN/m}^2$ ）

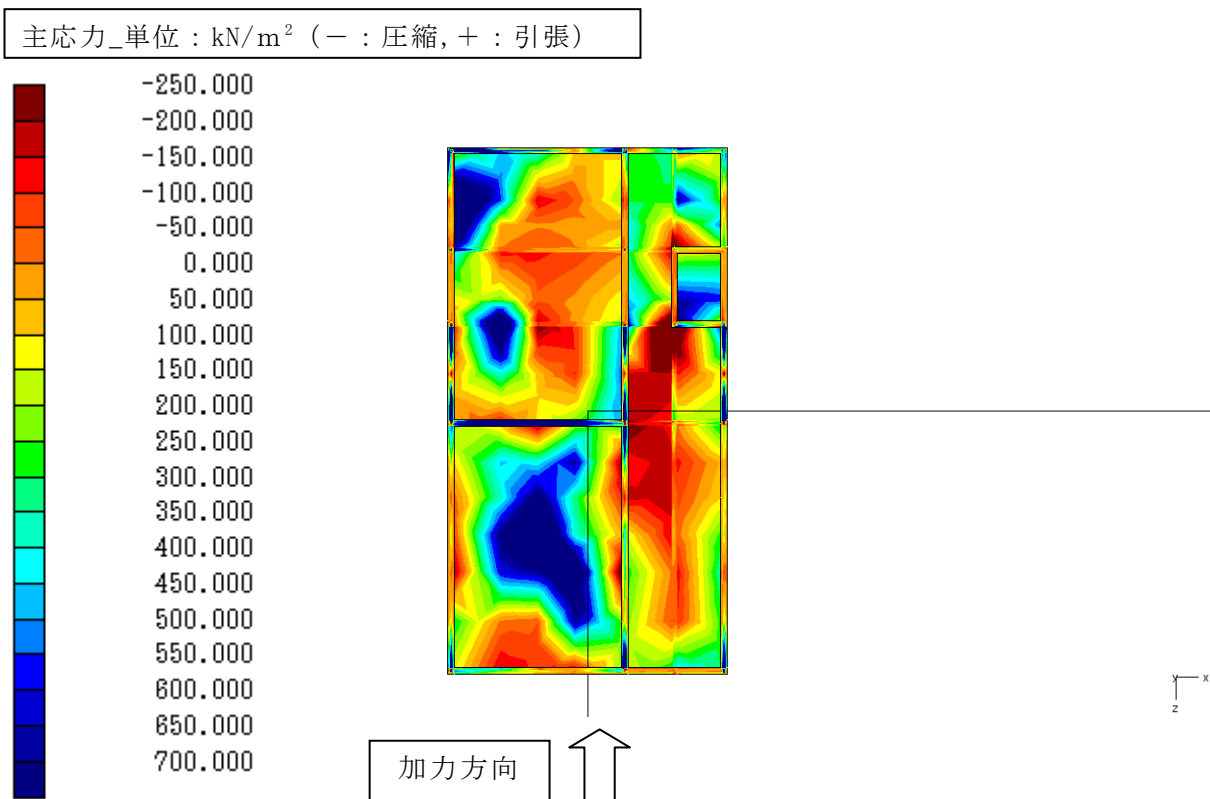


図 4-2 基礎上面の主応力（住宅プラン 2（偏心 2F），べた基礎， $q_a=20\text{kN/m}^2$ ）

主応力_単位：kN/m²（-：圧縮，+：引張）

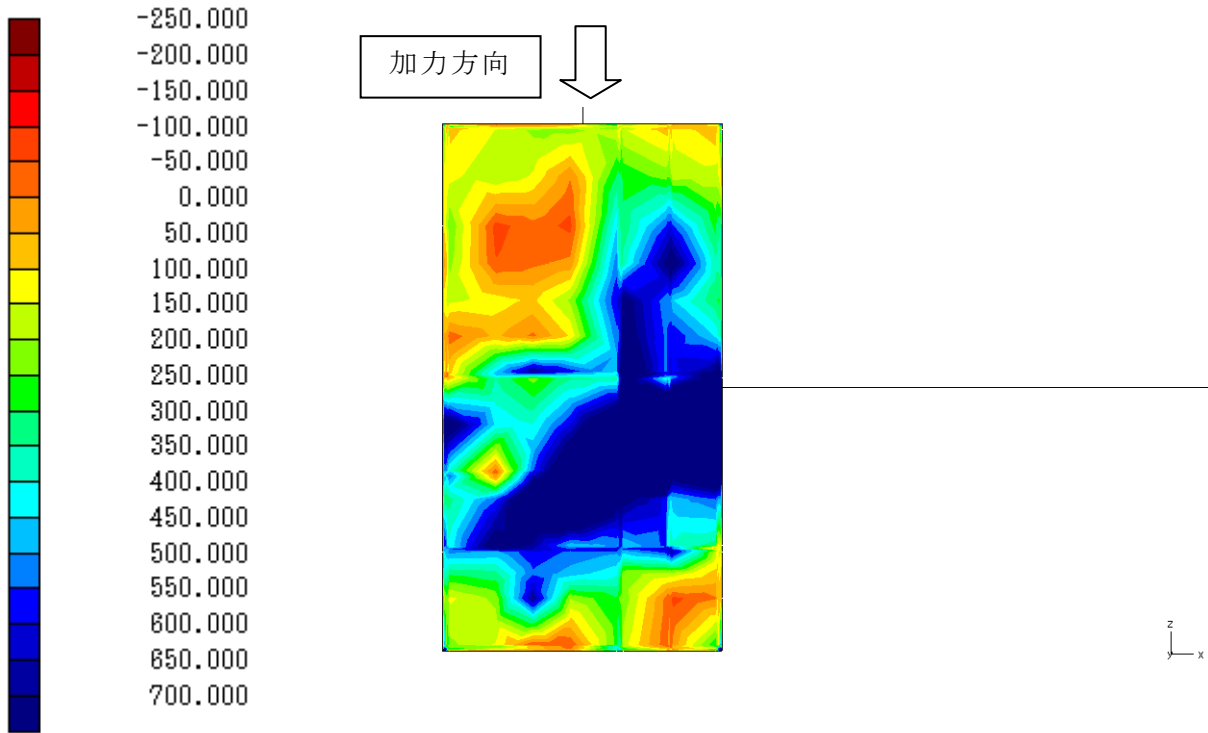


図 4-3 基礎下面の主応力（住宅プラン 2（偏心 2F），べた基礎， $q_a=20\text{kN/m}^2$ ）

鉛直変位_単位：m（-：沈下，+：浮上り）

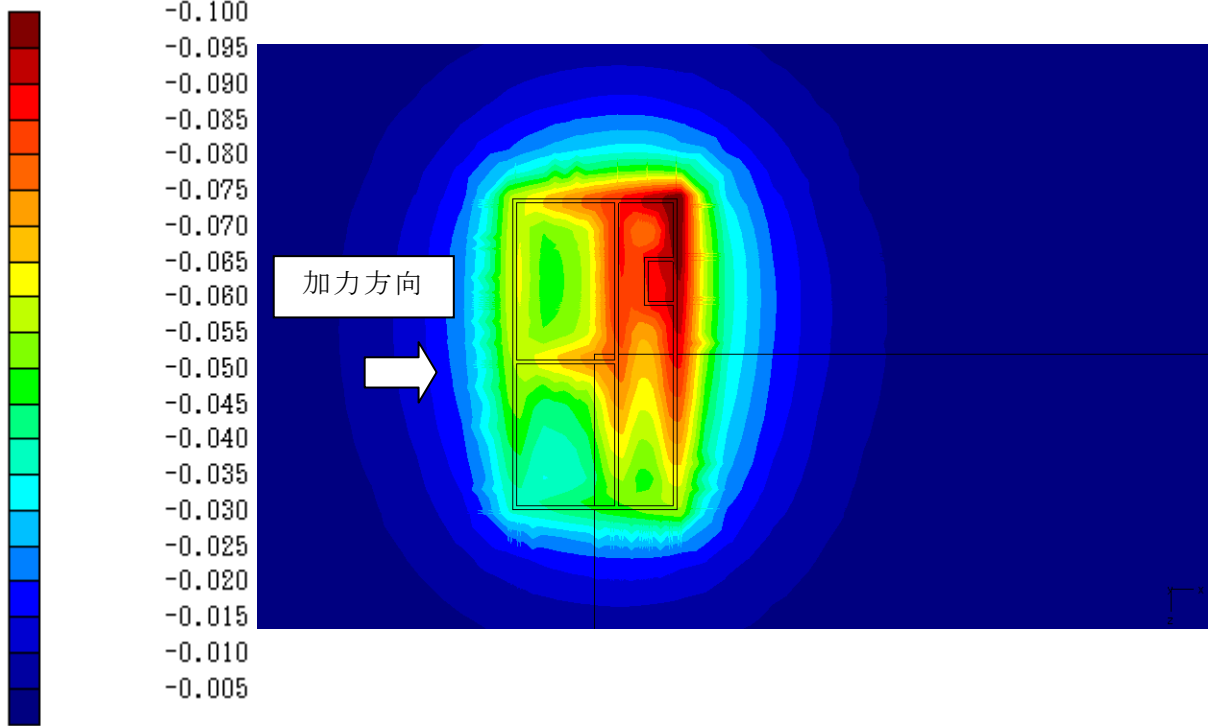


図 4-4 鉛直変位（住宅プラン 2（偏心 2F），布基礎， $q_a=30\text{kN/m}^2$ ）

主応力_単位 : kN/m² (- : 圧縮, + : 引張)

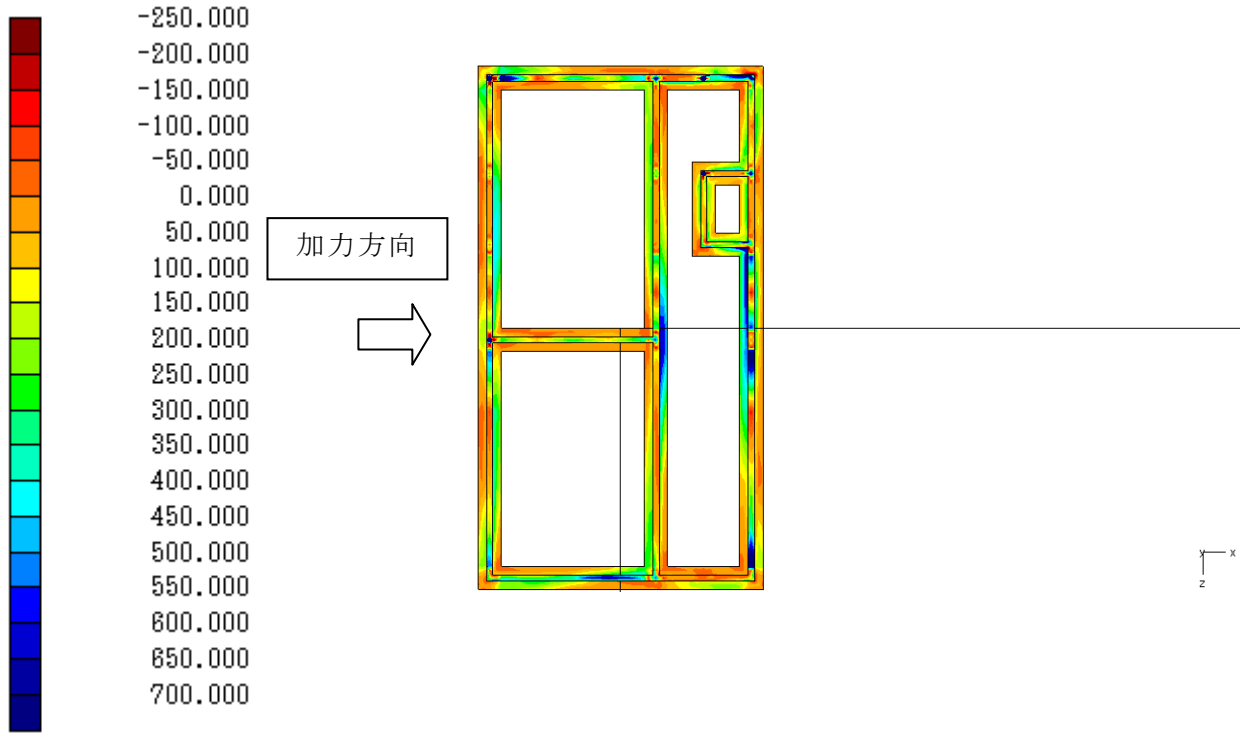


図 4-5 基礎上面の主応力 (住宅プラン 2 (偏心 2F), 布基礎, qa=30kN/m²)

主応力_単位 : kN/m² (- : 圧縮, + : 引張)

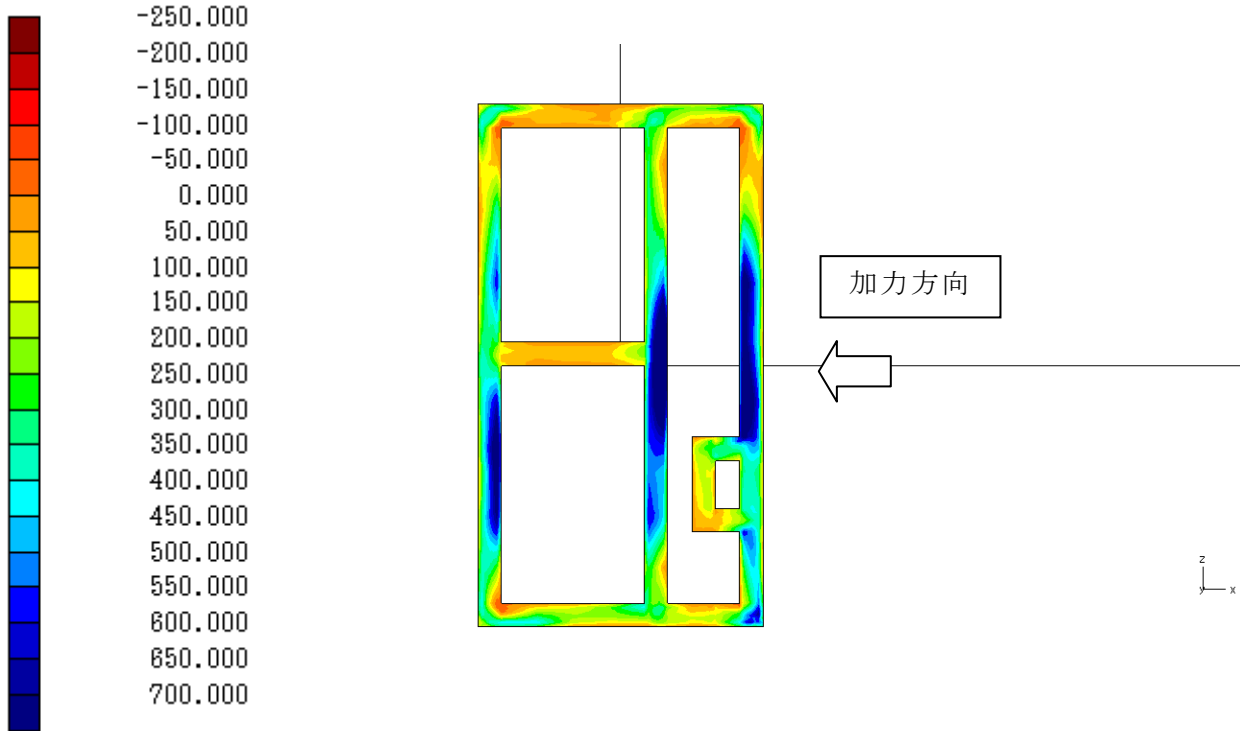


図 4-6 基礎下面の主応力 (住宅プラン 2 (偏心 2F), 布基礎, qa=30kN/m²)

②解析結果の整理

解析結果より、住宅基礎の総沈下量、不同沈下量、傾斜角を整理した。結果一覧を表 4-1 に、沈下及び傾斜角に関する許容値を表 4-2 に、それぞれ示す。なお、表 4-2 には、RC 造と木造の場合の許容値を赤枠で囲んで示している。

表 4-1 解析結果一覧

住宅プラン	住宅基礎形式	地盤の許容応力度(想定)	加力方向	基礎沈下量		
				総沈下量 cm	不同沈下量 cm	傾斜角 rad
1 (総3F)	べた	20	X + (右→左)	3.8	3.6	9.57E-03
			X - (左→右)	3.5	3.4	9.04E-03
			Y + (上→下)	6.4	2.9	4.19E-03
			Y - (下→上)	6	2.3	3.11E-03
		30	X + (右→左)	1.9	1.7	4.52E-03
		50	X + (右→左)	0.8	0.8	2.13E-03
		70	X + (右→左)	0.7	0.6	1.60E-03
	布	20	X + (右→左)	3.2	3.2	7.55E-03
		30	X + (右→左)	1.6	1.6	3.77E-03
			X - (左→右)	1.5	1.4	3.30E-03
			Y + (上→下)	2.6	1	1.27E-03
			Y - (下→上)	2.7	1.1	1.40E-03
		50	X + (右→左)	0.7	0.7	1.65E-03
		70	X + (右→左)	0.6	0.6	1.42E-03
2 (偏心2F)	べた	20	X + (右→左)	9.7	4.1	5.85E-03
			X - (左→右)	9.4	4.7	4.86E-03
			Y + (上→下)	9.4	6.1	6.30E-03
			Y - (下→上)	7.4	2.3	2.38E-03
		30	Y + (上→下)	8.9	5	5.17E-03
		50	Y + (上→下)	8.7	4.7	4.86E-03
		70	Y + (上→下)	8.6	4.6	4.75E-03
	布	20	X + (右→左)	3.6	2.5	4.58E-03
		30	X + (右→左)	3.1	1.5	2.73E-03
			X - (左→右)	2.7	1.3	1.37E-03
			Y + (上→下)	1.1	0.7	7.24E-04
			Y - (下→上)	0.9	0.5	6.20E-04
		50	X + (右→左)	2.7	1.2	1.47E-03
		70	X + (右→左)	2.7	1.2	1.28E-03

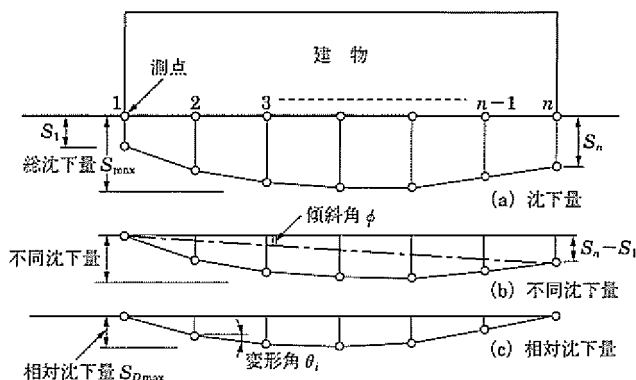


図 4-1 相対沈下量と傾斜角 (建築基礎構造設計指針 (2001))

表 4-2 沈下及び傾斜角に関する許容値（建築基礎構造設計指針（2001））

表 5.3.4 構造別の限界変形角の例^{5.3.43)}

支持地盤	構造種別*	基礎形式	下限変形角 × 10 ⁻³ rad	上限変形角 × 10 ⁻³ rad
圧密層	RC	独立, 布, べた	0.7	1.5
	RCW	布	0.8	1.8
	CB	布	0.3	1.0
	W	布	1.0	2.0~3.0
風化花崗岩 (まさ土)	RC	独立	0.6	1.4
	RCW	布	0.7	1.7
砂 層	RC・RCW	独立, 布, べた	0.5	1.0
	CB	布	0.3	1.0
洪積粘性土	RC	独立	0.5	1.0
すべての地盤	S	独立, 布 (非たわみ性仕上げ)	2.0	3.5

表 5.3.5 構造別の相対沈下量の限界値の例^{5.3.44)}

(単位 : cm)

支持地盤	構造種別	CB		RC・RCW	
		基礎形式	布	独立	布
圧密層	標準値	1.0	1.5	2.0	2.0~3.0
	最大値	2.0	3.0	4.0	4.0~6.0
風化花崗岩 (まさ土)	標準値	—	1.0	1.2	—
	最大値	—	2.0	2.4	—
砂 層	標準値	0.5	0.8	—	—
	最大値	1.0	1.5	—	—
洪積粘性土	標準値	—	0.7	—	—
	最大値	—	1.5	—	—
すべての地盤	構造種別	仕上材		標準値	最大値
	S	非たわみ性仕上げ		1.5	3.0
	W	非たわみ性仕上げ		0.5	1.0

表 5.3.6 構造別の総沈下量の限界値の例^{5.3.44)}

(単位 : cm)

支持地盤	構造種別	CB		RC・RCW	
		基礎形式	布	独立	布
圧密層	標準値	2	5	10	10~(15)
	最大値	4	10	20	20~(30)
風化花崗岩 (まさ土)	標準値	—	1.5	2.5	—
	最大値	—	2.5	4.0	—
砂 層	標準値	1.0	2.0	—	—
	最大値	2.0	3.5	—	—
洪積粘性土	標準値	—	1.5~2.5	—	—
	最大値	—	2.0~4.0	—	—
圧密層	構造種別	基礎形式		標準値	最大値
	W	布 べた		2.5 2.5~(5.0)	5.0 5.0~(10.0)
即時沈下	W	布		1.5	2.5

8.5 まとめ

- ・基礎の沈下、傾斜量に関しては、布基礎よりもべた基礎とした場合の方が大きく、特に地盤が緩い（解析上では、設定した許容応力度が小さい）場合においてはその傾向が顕著であった。これは、基礎自重の増加が原因であると考えられる。
- ・解析の結果、建築基礎構造設計指針（2001）に示されている沈下、傾斜に関する限界値の例を超えるケースもあった。ただし、指針等における数値は、設計に当たって目標とすべき値であり、必ずしも実際の沈下量（今回の解析で得られた数値）と対応するものではないことから、今後は被害事例との比較検証が必要ではないかと考えられる。

