

令和 6 年能登半島地震による建物転倒被害の調査及び検討
(その 1 1) : 杭破壊後の直接基礎的支持における支持力・沈下の検討

正会員 ○金田 一広^{1*}、新井 洋^{2*}、青木雅路^{3*}

直接基礎 杭基礎 変形解析
tij モデル MC モデル

1. はじめに

本稿では杭損傷後の直接的基礎の支持力・沈下挙動をモールクーロンモデル (MC) および Subloading tij モデル(以下 tij モデル)¹⁾を用いて検討したので報告する。

2. 解析条件

解析対象の地盤条件などは他原稿に詳しい²⁾。表 1 に設定した地盤定数とパイルキャップを示す。さらに地表面に近い Ac1,Ac2 層に関しては tij モデルを設定した。表 2 にパラメータを示す。3 軸非排水せん断試験の応力ひずみ曲線に合うように設定している。本報告では初めに図 1 に示す(a)パイルキャップと(b)構造スラブ付きパイルキャップの支持力・変形特性を示す。比較のためパイルキャップには(1)杭なし、(2)杭 GL-2m で破断し残存杭(5 本)ありの 2 ケースを示す。杭はシェル要素でモデル化している。なお(2)の場合は図 2 に示すようにパイルキャップの下端位置が GL-1.7m であるため残存杭の上には 0.3m 分の土があることとなる。次に、図 3 に示す建物全体の基礎でパイルキャップと残存した構造スラブに別途算定された建物荷重³⁾を載荷した時の基礎の傾きを調べる。こちらは 5 本杭を断面積が等しい 1 つの杭としてモデル化している。解析は Plaxis3D を使用した。

3. 解析結果

(a) 構造スラブとパイルキャップ

図 4(a)にパイルキャップおよび(b)に構造スラブ付きパイルキャップに強制変位を鉛直方向に 0.3m かけて反力を整理した結果を示す。(a)パイルキャップでは残存杭がない場合、(b)構造スラブ付きパイルキャップでは構造スラブがない場合も比較のため示す。(a)について、MC に比べて tij モデルの方が初期の剛性が小さく、沈下量が大きくなってもピークは見られず荷重が増加していく。一方 MC は沈下量 0.05m 過ぎでピークを迎えて一定となる。またどちらの解析も杭が残存する方が荷重が高くなる。(b)については基礎の幅が大きくなるため荷重値は(a)に比べ高くなる。構造スラブがあるほうがどちらの解析でも荷重が高くなるが、tij モデルでは構造スラブの有無であまり変化がみられな

表 1 材料定数

地層	下端深度 (m)	モデル	単位体積重量 γ (kN/m ³)	水中単位体積重量 γ' (kN/m ³)	せん断波速度 V_s (m/s)	ヤング率 E (kN/m ²)	ポアソン比 ν	粘着力 c (kPa)	内部摩擦角 ϕ (deg)
Ac1	-7.00	tij/MC	13.15	3.34	70	5.82E+03	0.33	30	0
Ac2	-17.95	tij/MC	15.50	5.69	100	1.40E+04	0.33	30	0
Ac3	-22.60	MC	16.19	6.38	160	3.75E+04	0.33	60	0
Ac4	-31.15	MC	16.19	6.38	180	4.74E+04	0.33	60	0
Ag1	-33.60	MC	19.62	9.81	320	1.82E+05	0.33	1.0	30
Ag2	-37.75	MC	19.62	9.81	370	2.43E+05	0.33	1.0	30
Tm	-40.34	MC	17.66	7.85	610	5.94E+05	0.33	1.0	30

*暫定的に決めたパラメータ
*1 モールクーロンモデルで使用するパラメータ

パイルキャップ

材料名	ヤング率 (kN/m ²)	ポアソン比
基礎/杭	4.0E+7 (40000N/mm ²)	0.3

表 2 tij モデルのパラメータ

	Lamda	Kappa	Rcs	N	Poisson	Beta	emax	e0	aAF*
Ac1	0.45	0.045	3.25	2.41	0.20	2.00	100.00	2.750	500.00
Ac2	0.34	0.010	3.25	1.92	0.20	2.00	100.00	2.000	550.00
	aIC*	pl	axk	Qw0	bw*	pw	bxc	Pa	powerIC
Ac1	500.00	1.00	50.00	1.00	3.00	1.00	0.00	98.00	2.00
Ac2	550.00	1.00	30.00	2.00	1.00	1.00	0.00	98.00	2.00

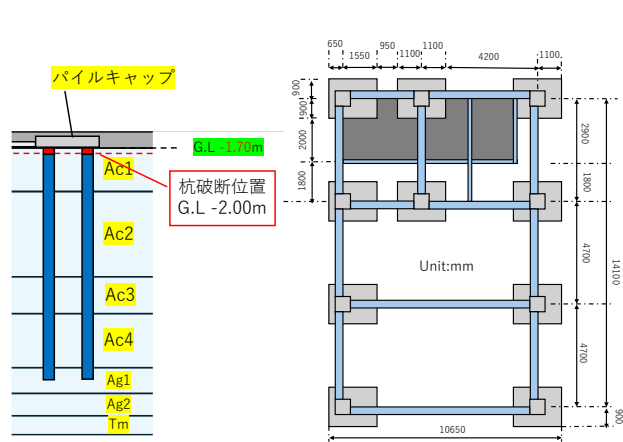
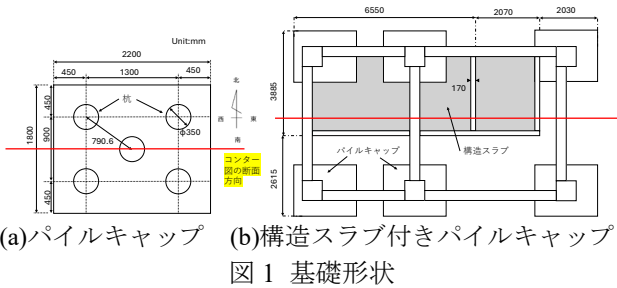
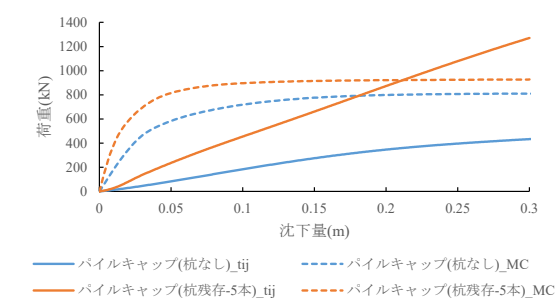
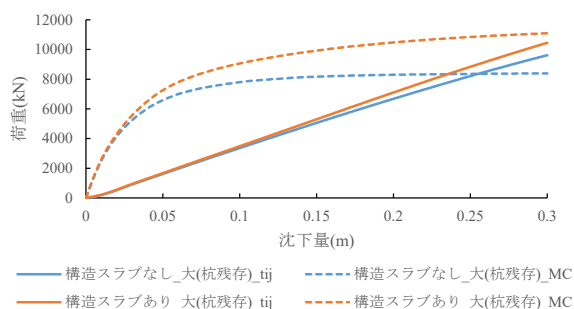


図 2 杭破断断面図 図 3 建物基礎形状 (全体)

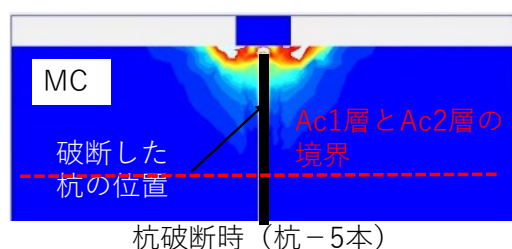


(a) パイルキャップ

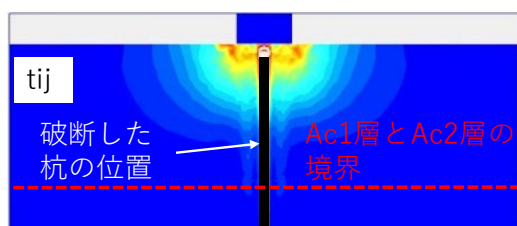


(b) 構造スラブ付きパイルキャップ

図4 荷重と沈下量の関係



杭破断時（杭-5本）



杭破断時（杭-5本）

図5 全偏差ひずみのコンター図（パイルキャップ）

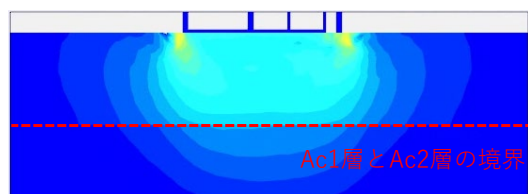


図6 全偏差ひずみのコンター図(構造スラブ)

い。図5に図1に示す断面方向の沈下量0.3m時の杭残存時の全偏差ひずみのコンター図を示す。MCに比べてtijモデルの方が深くまで影響が及んでいるがAc1層のみの影響範囲である。図6に図1(b)で示した杭残存時、構造スラブあり、tijモデルのコンター図を示す。基礎幅が大きいためAc1のみではなくAc2にまで影響が広がっている。MCは設定した層で一律の地盤剛性となるが、tijモデルは拘束圧に応じて地盤剛性が変わる。深度が深くなるほど剛性が高くなり、沈下特性、支持力特性両者にその影響が表れてくると考えられる。

(2) 建物全体の基礎

紙面の関係上MCで東側の基礎の杭頭がGL-6.0mであった場合のみ示す。ただし建物荷重全体を載荷することができず建物荷重全体の72%載荷した時に収束せず解析が終了した。図7にその時点での変形図とそれぞれのパイルキャップの変位を示す。西側の一部のパイルキャップでは変位が正、つまり地盤と基礎の剥離が見られ、東側は最大2.86mの沈下が見られた。残存する杭の杭頭が深くなればそちらの方向に基礎が傾いていることを数値解析で示している。

4. まとめ

杭頭2m位が破壊された場合、下部に残存する杭が残っていても直接基礎としての支持力にあまり増加は見られない。杭基礎としてパイルキャップ直下の地盤に拘束圧が無かった場合、MCのように一定の剛性があると仮定する解析に比べて、沈下剛性が小さくなる可能性があることが示された。また、構造スラブがあることで支持性能は高くなった。

謝辞：本検討は多数の関係者の連携と協力により実施された。

（その1）に示す謝辞を参照されたい。

参考文献；1) Nakai T. and Hinokio M.: A simple elastoplastic model for normally and over consolidated soils with unified material parameters, *Soils and Foundations*, 44(2), 53-70, 2004. 2)新井他：令和6年能登半島地震による建物転倒被害の調査及び検討（その4）, AIJ大会, 2026. 3) 迫田他：令和6年能登半島地震による建物転倒被害の調査及び検討（その2）, AIJ大会, 2026.

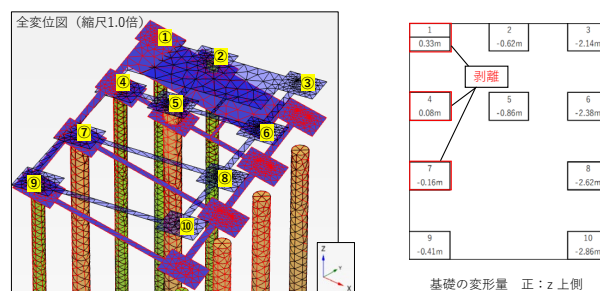


図7 基礎全体解析の変形

*1 千葉工業大学, *2 建築研究所, *3 建築基礎・地盤技術高度化推進協議会。

*1 Chiba Institute of Technology, *2, Building Research Institute, *3 Alliance for advanced design and construction of building foundations.