

建築基礎構造の生態学的転回と里山における実践

Ecological turn of architectural foundations and its practice in “Satoyama”

東京工業大学 教授 塚本由晴

(研究計画ないし研究手法の概略)

近代以前の建築の地業・基礎（以下、地業・基礎）は、土を何層にもつき固める版築や割栗石、木杭など自然素材が用いられていたが、近代以降は欧米の建築技術が日本に取り入れ、建築の耐震性・耐久性がより求められる中でコンクリートや鉄など人工素材を用いた地業・基礎が一般的に用いられるようになった。

こうした中、近年はカーボンニュートラルの実現が喫緊の課題であることに加え、全国各地で土砂災害が相次いで増加しており、土中の水や空気の流れを健全に保つことが注目されており、地業・基礎の計画においても生態学的な観点から構工法の見直しが必要であると考えられる。その際、参考となり得るのが近代より前の地業・基礎であり、例えば石場建ては、木杭を打設し、割栗石を小端立て、その上に礎石を据える地業・基礎であり、周辺環境から調達した材料を用いて人力で施工ができ、現代のべた基礎などと比べると、土中の水や空気の流れを極力阻害しない有効な方法であり、生態学的な観点から現代において学ぶべき点が多いと思われる。

そこで本研究は、石場建てのような生態学的に好ましいと考えられる近代以前の地業・基礎を現代の計画・施工に活用することを目的とし、近代以前の地業・基礎に関する調査および里山での地業・基礎施工の実践を行う。ここでいう生態学的に好ましい地業・基礎とは、A：可能な限り里山の環境から調達した材料を用いて、B：大型重機などを用いずに人力で施工することができ、C：土中の水や空気の流れを阻害せず、D：十分な地盤の耐力と剛性を確保する地業・基礎である。具体的には、近代以前にみられる地業の構工法に関する調査、石場建ての設計条件に関する調査、スクリーウエイト貫入試験による釜沼北集落の地盤調査の3つの調査を行うとともに、千葉県鴨川市釜沼北集落の里山において、既存改修における版築壁、石場建てタイニーハウス、掘立ての道具小屋、ソーラーパネルの架台の施工の4つの実践を行う。

(実験調査によって得られた新しい知見)

調査①：近代以前にみられる地業の構工法に関する調査

明治時代以降に発行された文献を参照し、近代以前にみられる地業の構工法の種類や特徴に関して調査を行った。文献調査から**17種類**の地業がみられ(図1)、このうち近代以前にみられる地業は、玉石地業、割栗地業、棧積石地業、貝殻地業、樽地業、木杭(算盤)地業、蠟燭地業、砂利杭地業、砂地業の9種類であり、主に木造家屋や土蔵に用いられていたと思われる。近代以降取り入れられたと思われる地業は、砂杭地業、板地業、コンクリート地

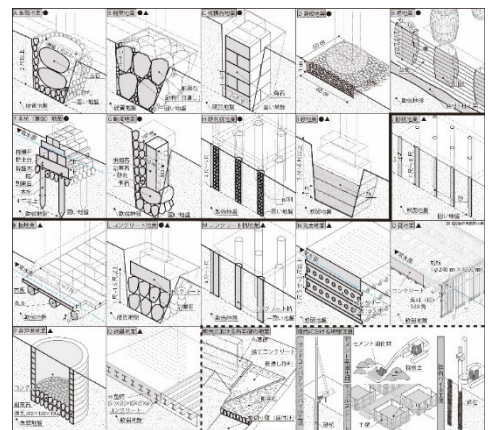


図1 文献調査でみられた地業

業、コンクリート杭地業、丸太地業、筏地業、井戸側地業、鋼鐵地業の8種類であり、主に煉瓦造やコンクリート造建築に用いられていたと思われる。

調査②：石場建ての設計条件に関する調査

石場建ての設計条件に関して、文献調査、工務店や実務設計者へのインタビュー、石場建て施工ワークショップへの参加、石場建てタイニーハウスの建設を通して整理した。石場建ては、礎石、割栗石、砕石により構成され、その仕様はJIS規格により規定される(表1)。また延床面積、階数、柱と基礎の緊結方法により、構造計算は限界耐力計算、許容応力度計算、壁量計算を選択する(表2)。その際、軸力に関しては圧力球根(図2)を用いて計算を行い、礎石の大きさと床堀深さを算出する(表3)。

表1 石場建ての石材の規格

	礎石	割栗石	砕石
JIS規格	JIS A 5003	JIS A 5006	JIS A 5001
石材種類	花崗岩、安山岩(原則、硬石・準硬石)		
性質	そり、亀裂、くされ、欠けがなく、構造耐力上支障のないもの		
形状	角石、板石	4寸角程度の大きさ	M30(C40,4号砕石)
圧縮強さ	96.18[kN/m ²]以上(準硬石の圧縮強度以上)		
吸水率	15.0[%]未満(準硬石の吸水率以上)		
見掛比重	約2.0以上(準硬石の見掛比重以上)		

表2 石場建てに関する法制度

地耐力	延床面積 [m ²]	階数	柱と基礎の緊結	構造計算
告1347	施42条, 告1347	施42条	施42条, 施38条	施38条3項, 施36条2項二号

70[kN/m ²]以上	50[m]以上	1・2	無(足固め)	限界耐力計算
			有(ダボ継ぎ)	
	10[m]-50[m]	2	無(足固め)	限界耐力計算
			有(ダボ継ぎ)	
		1	無(足固め)	限界耐力計算or許容応力度計算
			有(ダボ継ぎ)	
70[kN/m ²]未満	10[m]未満(増築)	1	無(足固め)	限界耐力計算or許容応力度計算or壁量計算
			有(ダボ継ぎ)	

表3 圧力球根を用いた石場建ての構造計算フロー

①建築物総重量の算定	②軸力の算出	③礎石の検討	④礎石自重の算出	⑤地盤にかかる軸力の算出	⑥長期許容応力度と軸力の比較	⑦床堀深さの検討
建築物に作用する重量を固定荷重、積載荷重、積雪荷重の和により算定	束・柱にかかる軸力を荷重分布図より算出	礎石にかかる軸力が90[kN/m ²]になるように礎石断面の大きさを検討	礎石の比重と体積から礎石自重を算出	礎石の自重と軸力の和から地盤にかかる軸力を算出	地盤の長期許容応力度が地盤にかかる軸力より大きいことを確認	圧力球根より、床付した地盤面の長期許容応力度が18[kN/m ²]以上である深さを床堀深さとする

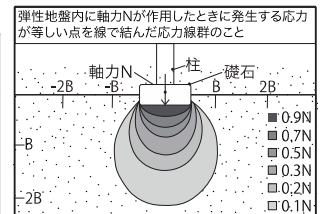


図2 圧力球根の概要

調査③：スクリーウェイト貫入試験による釜沼北集落の地盤調査

釜沼集落内の複数地点において、スクリーウェイト貫入試験(以下SWS試験)による地盤調査を行った。釜沼集落内のSWS試験を行った調査地点と各調査地点の地盤の長期許容支持力度を図3に示す。地点1~地点4はいずれも粘土質の地盤であり、地点1、2、3においては、部分的に軟弱な自沈層がみられた。

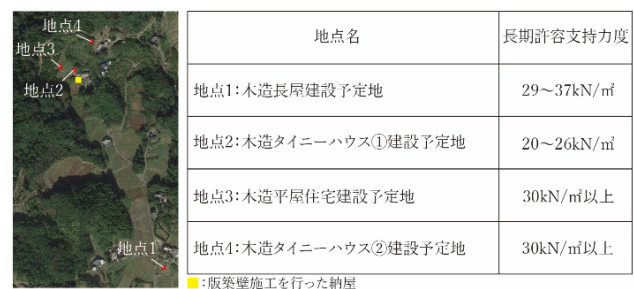


図3 SWS試験調査位置と調査結果

実践①：既存改修における版築壁施工

版築壁地業・基礎の計画および検討過程

釜沼集落内にある納屋(図3の地点2付近, 図5)改修における版築壁施工のための地業・基礎施工を行った。版築壁1枚あたりの荷重は約3~4tであり、SWS試験の結果から納屋周辺は粘土質の軟弱地盤、かつ支持層が深いことが予想された。今回はコストの観点から支持地盤まで到達する杭を打設する



図4 既存改修を行った納屋外観

ことや、既存建物がある状態で鉄筋コンクリート基礎を打設することが難しかったこと、改修前に納屋周辺の水はけをよくするため、造園家の高田らの手法を参照し、納屋の軒先の雨落ち部分に溝を掘り、部分的に竖穴を掘るなど雨水が適切に土中に浸透するための環境改善を行っていたことから、安価な材料で、素人でも施工可能で、土中の水や空気の流れを阻害しない構工法が求められた。

以上のことから、今回は調査①における割栗地業や木杭地業を参照し、掘削した地盤に表面を炭化させた松杭を複数打設し、地盤と松杭の摩擦で版築壁の荷重を支え、杭周辺は割栗石を小端立て、掘削した地盤の側面に側圧がかかるような計画とした（図5）。基礎はプレキャストのコンクリート縁石（以下、縁石）を採用し、割栗石の上に碎石を敷き詰め、碎石と土台の間に据えた。材料は、藁や竹炭、燻炭は釜沼集落内から調達したが、松杭、割栗石、碎石、縁石は釜沼集落外の材木店や土建屋、コンクリート製造会社から購入したため、今後調達方法に関しては検討が必要である。

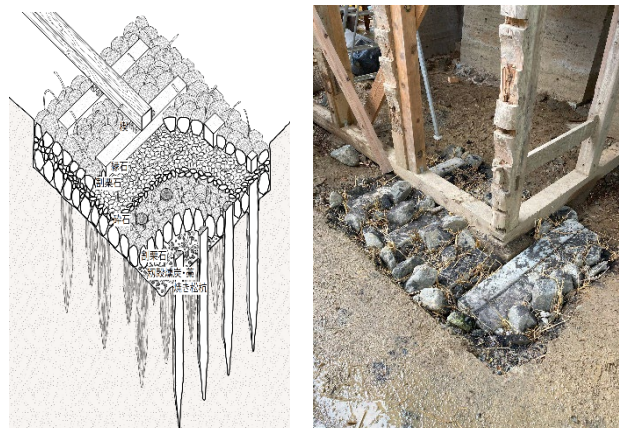


図5 版築壁地業・基礎アクソメ(左)と竣工写真(右)

平板載荷試験による地業の効果検証

地業・基礎の効果の定量的な検証を行うため、平板載荷試験を行った。試験結果を図6に示す。地耐力に関しては、地耐力を表す長期許容応力度は、地業地盤と通常地盤ともに試験最大荷重の長期許容応力度70kN/m²以上を満足する結果となった。今回は納屋周辺までの搬入経路の都合上、大型機械の搬入が難しく、長期許容応力度70kN/m²以上の荷重をかけることができなかったため、極限応力度の明確な値は求められなかった。しかし、版築壁1枚あたりの長期許容応力度は21.9kN/m²であるため、版築壁の荷重に対して十分な地耐力であることは明らかとなった。沈下量に関しては、試験最大荷重である210.0kN/m²に対する地盤の最終沈下量は、地業地盤4.910mm、通常地盤11.263mmであり、地業を行うことで沈下量を約2倍抑制する効果がみられた。地盤の剛性に関して、地盤工学会の基準を参照し、地盤の剛性を示す地盤反力係数kvを求めると、地業地盤：kv=157.5（MN/m³）、通常地盤：kv=29.9（MN/m³）となり、地業を行うことで、地盤の剛性を5倍以上高める効果がみられた。

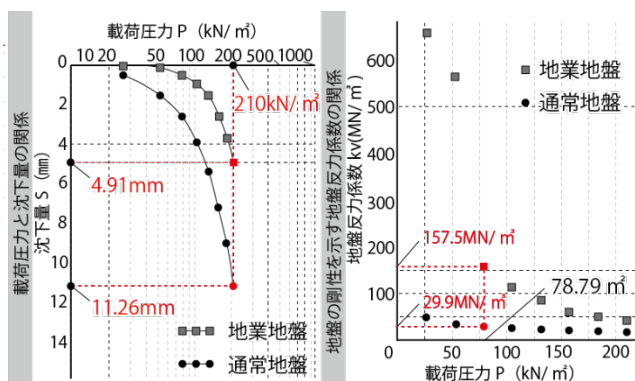


図6 平板載荷試験結果

実践②：石場建てタイニーハウス施工

釜沼北集落内に石場建てタイニーハウス（以下、タイニーハウス）の計画・施工を行った（図7、表4）。タイニーハウス計画地（図3の地点4）は、地盤の長期許容応力度が33.8kN/m²であり、防火地域及び準防火地域外であった。また、タイニーハウスは延床面積10 m²未満の建築物であることから貫構造による足固めとした。構造的な検証では、建築物総重量(表5)から、礎石にかかる軸力を算出し、地盤の長期許容応力度との比較を行った。礎石にかか

る軸力は最大17.00kN/㎡であり、地盤の長期許容応力度は33.8kN/㎡であることから、長期許容応力度の約半分の数値であり、軸力を負担できることが確認できた(図8)。①床堀②床付③焼松杭打ち④割栗地業⑤砕石地業⑥礎石据えの順で人力による施工を行う。

表4 石場建てタイニーハウスの概要

地盤調査	長期許容支持力度は、30kN/㎡以上の地盤状況を確認。
法制度	床付面の地耐力が33.8kN/㎡で、防火地域及び準防火地域外の増築であるため、柱脚は貫による足固めとした。
構造計算	建築物総重量(人が5人乗った時の荷重を想定)を算出し、荷重分布図により、①足組(束、貫、大引、床梁)②小屋組(登梁、繫梁、棟木、母屋貫、稲藁葺)の2パタンの柱脚の荷重負担面積を算出し柱脚軸力を算出した
材料	礎石 墓石(花崗岩)を調達し、セリ矢で約300mm角及び約400mm角の石材に加工し、礎石とした。
	砕石 粒度調整砕石 M30
	割栗石 幅が4寸程度の割栗石
	木杭 端材等を燃料とし、松杭を焼松杭にした。

表5 石場建てタイニーハウスの建築物総重量

建築物総重量G算出式 $M = \sum m \times 9.8$ (9.8[m/s ²]:重力加速度)		
	質量 m[kgf]	重量 [kN(N)]
足組(束,貫,大引,床梁,床板)	308.37	3.02(3022.03)
小屋組(登梁,繫梁,棟木,母屋貫)	154.77	1.53(1516.75)
稲藁葺(多雨時の重量を想定)	11,623.85	113.91(113913.73)
礎石	659.85	6.47(6466.53)
人5人分(57.63[kg/人]で計算)	288.15	2.86(2823.87)
合計	13,034.99	127.74(127,742.90)

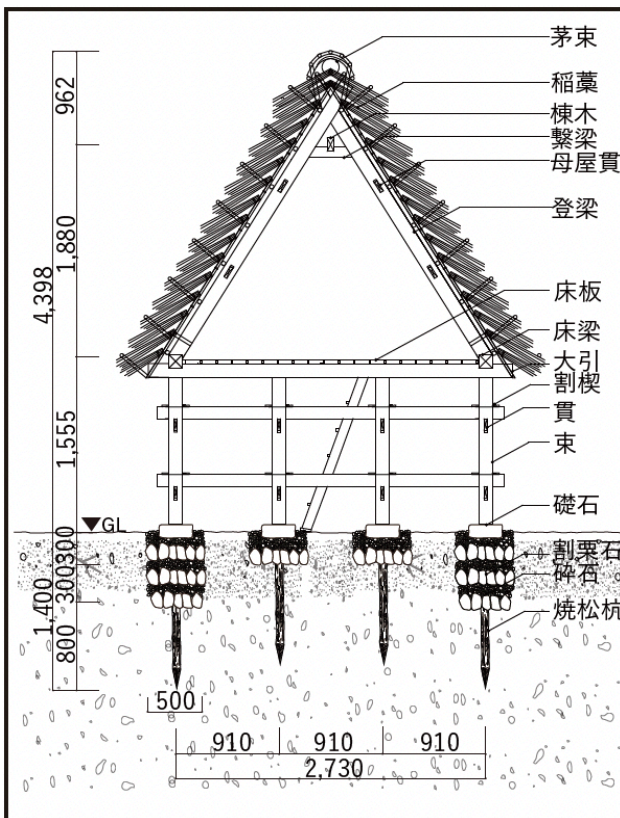


図7 石場建てタイニーハウス断面図(計画案)

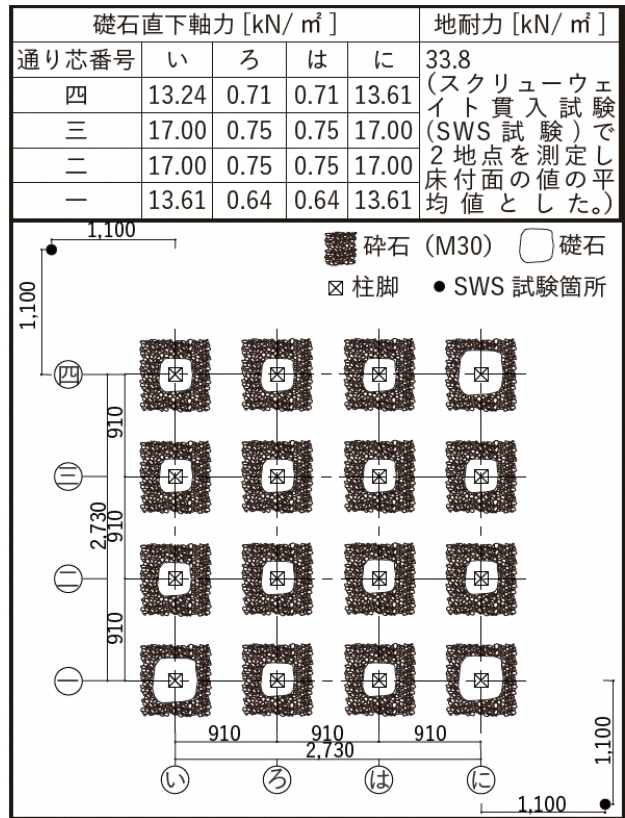


図8 石場建てタイニーハウス基礎伏図兼及び礎石直下軸力

実践③：掘立て資材小屋施工

資材小屋(図9)は地面に打設した杭が基礎と柱を兼ねる掘立ての計画とし、掘立て資材小屋が周辺の生態系に与える影響(地表面の植生や水はけの変化)を観察することを目的とした。釜沼集落周辺の森林から発生した間伐材を、チェーンソーを用いて杭化した。また杭は防腐・防虫処理及び炭化させ、人力で打ち込んだ。打設した深さに違いはあったが、柱として機能する構造的に安定することを確認した。しかし、先に述べた生態系に与える影響については、継続的な観察を通じた検証が必要である。

実践④：ソーラーパネルの架台施工

ソーラーパネル設置のため架台(図10)を計画・施工した。計画地の周辺には既存の切り

切り株が存在していたことから、樹木を構造的に支えていた切り株を基礎とみなし、切り株周辺の土中の水や空気の流れなど土中の生態系を阻害しないことを目的とした。架台は既存の切り株と 1000mm 程度の焼杉杭 2 本により支持する計画とし、ソーラーパネルを支える束を切り株に結合した。杭に関しては、掘立て資材小屋と同様の方法で先端を加工した。今後は実践③と同様、長期的な荷重への耐力や周辺の生態系の変化については継続的な検証が必要である。



図 9 掘立て杭打込みの施工写真



図 10 焼杉杭打込みの施工写真

本研究の成果と今後の課題

本研究は、生態学的に好ましいと考えられる近代以前の地業・基礎を現代の計画・施工に活用することを目的とし、近代以前の地業・基礎に関する調査および里山での地業・基礎施工の実践を行った。地業・基礎の文献調査では、明治時代以前に用いられていた 17 種類の地業・基礎がみられた。また、石場建てに関わる法制度を調査し、地耐力、延床面積、階数、柱と基礎の緊結方法および構造計算の方法など石場建ての設計条件に関して整理した。地業・基礎の実践では、特に版築壁地業・基礎施工においては、地業をすることで地盤の沈下量を約 2 倍抑制し、地盤の剛性を約 5 倍以上高める効果がみられ、タイニーハウス施工においては、石場建て基礎により礎石にかかる軸力を十分に負担することを構造計算により確認した。

こうした調査や実践から、近代以前の地業・基礎は現代の木造平屋など小規模建築への活用可能性があると考えられる。しかし、延べ床面積 10 m²以上の建築において石場建てを用いる場合は地耐力が 70kN/m²以上である必要があり、釜沼集落のような軟弱地盤において、現行法規上、限界耐力計算や許容応力度計算といった複雑な構造計算を要する。そのため今後は文献調査でみられたような生態学的に好ましいと考えられる地業・基礎の構造性能などの工学的な検証実験を十分に行い、現行法規の見直しを行う必要がある。その際、粘土質地盤の圧密沈下や、時間経過による有機物の分解を考慮し、平板載荷試験による短期的な載荷荷重に加え、長期的な載荷試験や周辺の植生や水はけなどの観察を行う必要がある。また、地業・基礎の材料に関しても調達方法に関して検討が必要である。

(発表論文)

日本建築学会論文集に投稿準備中