



液状化対策

「全戸合意」の厚い壁

東日本大震災から7年。液状化被害が多発した千葉県浦安市で、戸建て向けの対策事業が進む。地中に格子状の改良壁を設ける斬新な工法だったものの、本格的な施工に至ったのは33戸だけ。地区住民全員の合意という障壁が、立ちはだかった。(奥野 慶四郎=ライター)

東京ディズニーリゾートに近い千葉県浦安市東野3丁目地区で、地盤の液状化対策工事が進んでいる(写真1、図1)。宅地の境界を縫うように地中壁を造成し、格子状に地盤を区切っていく「格子状地中壁工法」と呼ぶ方法を採用した。

浦安市では東日本大震災による揺れによって、約1455ヘクタールに及ぶ埋め立て造成地のほぼ全域で、液状化現象が発生した。その結果、地盤の支持力が低下して、約8700棟の建築物が沈下したり傾いたりする被害が生じた。

この事態を受けて、市は2012年以降、国が制定した東日本大震災復興交付金制度を活用した市街地液状化対策事業に取り組んできた。東野3丁目地区の工事はその1つだ。

市街地液状化対策事業がアウトライン段階だった15年7月時点では、

(写真1、図1) 本格施工にたどり着いた現場

2018年2月に液状化対策工事に着手した浦安市東野3丁目地区。8月23日に撮影した。右下は位置図。赤で示したエリア内の16地区で液状化対策事業が検討されていた(写真:奥野 慶四郎)



〔図2〕合意形成に至ったのは全体の約1割

地区番号	2015年7月24日時点の事業候補地	宅地数(戸)	面積(m ²)	実施への合意形成から着工への経過
1	今川3丁目13街区	18	3800	合意形成に至らず
2	今川2丁目13~15街区	73	2万1000	合意形成に至らず
3	弁天2丁目25~31街区	98	2万2200	45戸が合意形成に至り、着工準備中
4	美浜3丁目1~8街区、10~14街区	191	4万2300	合意形成に至らず
5	舞浜3丁目全街区	546	12万2000	393戸が合意形成に至り、16年12月に着工するも、17年1月に埋設物による施工阻害が発生。施工方法を変更して再度、合意形成を図ったが合意に至らず、18年6月に中止決定
6	弁天2丁目3~12街区、14~24街区、32~38街区	388	10万2100	合意形成に至らず
7	弁天1丁目6~20街区 弁天4丁目1~12街区、14~20街区	489	11万6700	合意形成に至らず
8	舞浜2丁目18~46街区	416	10万800	合意形成に至らず
9	舞浜2丁目2~9街区、12~17街区	236	5万4500	合意形成に至らず
10	入船4丁目34~46街区	140	3万4800	合意形成に至らず
11	富岡1丁目2~21街区	224	5万	合意形成に至らず
12	東野3丁目12~27街区、29~40街区	397	9万4500	33戸が合意形成に至り、18年2月に着工
13	美浜3丁目16~32街区	238	5万6900	合意形成に至らず
14	美浜4丁目16~31街区	243	5万6200	合意形成に至らず
15	美浜4丁目1~5街区、7~15街区	215	4万8900	合意形成に至らず
16	富岡4丁目1~8街区、11~14街区、19~22街区	191	4万600	合意形成に至らず
16地区合計		4103	96万7300	実施への合意が得られた宅地は471戸

(資料:取材を基に本誌が作成)

16地区の計4103戸が事業の実施を望んでいた。

ところがその後、詳細な事業計画が提示されると、様相が変わる。事業の実施に難色を示す住民が現れ始めたのだ。そして、合意形成ができぬまま、実施を諦める地区が相次いでいった。

最終的に合意に至ったのは、舞浜3丁目地区と弁天2丁目地区、東野3丁目地区の3地区の計471戸。戸数で見れば、当初の1割程度にとどまっている〔図2〕。

合意を阻む「壁」となったのは、場所によっては約200万円に及ぶ自己負担の高さや、地区全体で100%近い合意を得ることだった。

全戸からの合意を求めたのには理由がある。例えば、辞退する住民が



〔写真2〕想定外の埋設物が施工を阻む

試験施工中にドレーン材などの埋設物が出現。機械に絡んだり改良体の品質を低下させたりして、改良作業に大きな支障が出た。上は改良体の周囲で発見されたドレーン材(赤色の丸内)。右上は現場で出現したドレーン材。右下は改良材を噴射する先端モニターにドレーン材が巻き付いた様子(写真:3点とも浦安市)

出れば、格子状に設ける地中壁の一部が欠けてしまう。すると、設計どおりの液状化の抑制効果を期待できなくなる。

それでも実施を望めば、ほかの住民たちが費用を肩代わりしなければならない。しかも、その場合は辞退した住民は自己負担なしで対策してもらえないことになる。しかし、これでは不公平感が生まれてしまう。同市都市整備部復興事業課の醍醐恵二課長は、「だからこそ、極力、全戸合意を目指す必要がある」と強調する。

いったん合意できても、それが維持される保証はない。16地区のうちで唯一、全戸合意だった弁天2丁目地区は現在、着工に向けた準備段階だ。だが最近になって、辞退を希望する住民が現れた。動きが広がれば、工事が難しくなる可能性がある。

醍醐課長は、こう言って気を引き締める。「市が無理に工事を始めるわけにはいかない。丁寧に説明して住民の理解を引き出し、着工に向けた努力を続けていく」

着工後に思わぬ「伏兵」

3地区のなかで最も早い16年12月に着工した舞浜3丁目地区では、想定外の埋設物によって工事が中断するトラブルに見舞われた。

17年1月に実施した試験施工において、土中から化学繊維の不織布が多数出現。固化材を噴射する装置に絡み、改良体の出来形不良や強度不足を招いたのだ(写真2、3)。この不織



(写真3) 本施工に向けて

2017年1月に舞浜3丁目地区で、改良体の出来形を確実に確保するための試験施工が実施された

(図3) 市民・市職員・専門家が総力を挙げる

時期	実施項目	内容
2011年7月～12年2月	浦安市液状化対策技術検討調査委員会(全4回)	・土木学会、地盤工学会、日本建築学会の3学会で合同の委員会を設置。主に(1)地盤特性の把握と液状化の要因分析(2)公共土木施設の被害状況分析と対策(3)建築物、宅地の被害状況分析と対策について検討調査した ・検討結果として、一体的な液状化対策工法として5工法を例示。さらに、それ以降の検討対象として、技術開発状況などから、地下水位低下工法と格子状地中壁工法を選定
12年3～11月	液状化対策実現可能性技術検討委員会(全3回)	・地下水位低下工法、格子状地中壁工法、個別建て替え時の対策工法の液状化防止・軽減効果やリスクなどを解析によって把握、整理した。全体の概算費用のまとめなどを実施
12年8～13年3月	地下水位低下工法の現場実証実験	・浦安市が単独で実施。地下水位低下工法に伴う地盤沈下リスクの実証実験や解析の妥当性を検討
12年12月～13年3月	国土交通省国土技術政策総合研究所による格子状地中壁工法に関する遠心載荷模型実験	・格子状地中壁工法の仕様に応じた対策効果を検証
13年4～14年3月	市街地液状化対策事業に関する全体説明会、自治会説明会、個別勉強会の開催支援、電話相談窓口の開設支援、アンケートなどを実施	・13年4月24日付で、住民説明会資料「市街地液状化対策事業の検討状況と今後の取り組み」が出される。同資料には、(1)実証実験の結果から、地下水位低下工法は、地盤沈下のリスクがあるので市として推奨することは難しいこと(2)国総研の模型実験結果から格子状地中壁工法であれば、コストは高いものの、一定の仕様で改良すれば効果があると判断したことなどが示された。市は同工法で事業を進めると明言した ・この期間に、20地区※、4103戸の住民から市に対して、液状化対策事業計画案の策定調査実施要請があった
15年2月～	浦安市市街地液状化対策事業計画策定調査	・宅地などの現況調査、詳細設計、施工計画、費用算定、事業計画の策定などを実施
15年2～12月	浦安市市街地液状化対策委員会(全6回)	・対策を実施するか否かを住民が判断する材料として作成した事業計画案に対して、安全性や経済性などの観点からその妥当性を審議。改善すべき点があると認められた場合に意見を具申 ・計画案が決定した地区はそれぞれ合意形成へ
16年2月～	各地区で液状化事業計画案に対する検討結果が出始める	・大半の地区で合意形成できず。舞浜3丁目地区、東野3丁目地区、弁天2丁目地区(合計471戸分)のみが合意形成に至り、実施を決定
16年12月～	舞浜3丁目地区で工事が始まる	
17年1月	舞浜3丁目地区の工事でトラブル発生	・試験施工でドレーン材が多数出現し、改良工事を阻害。施工方法の変更・改善の検討を余儀なくされる
17年7～11月	市街地液状化対策事業施工技術検討調査委員会(全2回)	・舞浜3丁目地区の埋設物による施工阻害に対応するため、技術的な対策を検討 ・検討結果を踏まえて、事業計画の変更案を地区住民に提示し、再度、合意形成を図る
18年2月～	東野3丁目地区で工事が始まる	
18年6月	舞浜3丁目地区の事業中止を決定	

※その後数地区が統合されて16地区に

(資料:取材を基に本誌が作成)

布は、1970年代に埋め立て造成をした際に、圧密沈下を促すためにドレーン材として土中に設置されたものとみられる。

埋め立て造成は半世紀ほど前。事業主体は千葉県だったこともあり、浦

安市が事前にドレーン材の存在を想定することは難しかった。市の市街地液状化対策検討委員会で委員長を務めた関東学院大学理工学部の東畑郁生客員教授もこう言って唇をかむ。「ドレーン材は意識になかった。

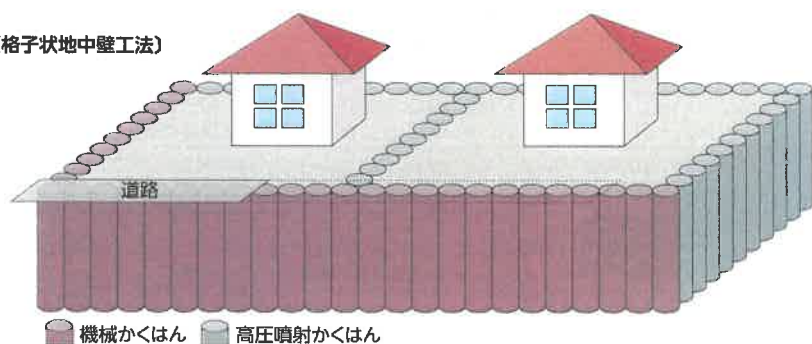
事前のボーリングで検知できなかったのが悔しい」

このトラブルに対し、市は固化材の噴射量を増やすなどして技術的な解決を図った。しかし、工法変更によって事業費が増大。工期の長期化やプラントの増設なども伴う羽目になった。

市は、国費の補助拡大で住民負担の増額をなんとか回避したものの、住民の熱は冷めてしまう。工期の延長やプラントの増設を許容できるか否かを改めて住民に尋ねてみたところ、同意水準が着工前の95%から78%へと低下したのだ。市は、合意形成が崩れたと判断。18年6月に事業廃止を決めた(図3)。

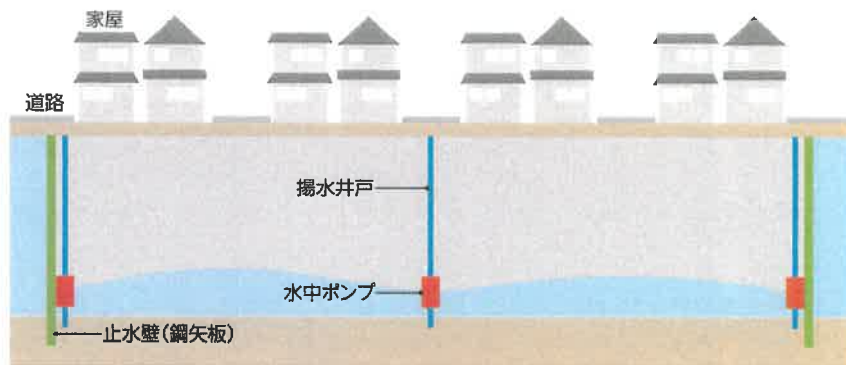
(図4) 新旧2工法を比較

(格子状地中壁工法)



液状化しやすい砂の地盤中にセメント系の固化材で、宅地を碁盤の目のように囲む地中壁を造成。液状化を起りにくくする。道路部と宅地部でかくはん工法を使い分ける

(地下水位低下工法)



事業実施区域を止水壁(鋼矢板)で囲み、揚水井戸を設置して地下水を継続してくみ上げ、地下水位を低下・維持させて液状化被害を軽減する(資料:下も浦安市)

工法選定に疑問抱く専門家も

市は今回、工法選定に際して、現工法と、ほかの地域で震災後の液状化対策に数多く採用された「地下水位低下工法」とを比較、検討した。後者は砂層の周囲に鋼矢板を打ち込み、その内側の地下水を揚水井戸でくみ上げて地下水位を低下させ、液状化を抑える手法だ(図4)。

市は独自に実施した実証試験などによって、地下水位低下工法は5年間で約20cm、20年間で約25cmの地盤沈下を招くリスクがあると評価。地盤沈下のリスクを回避して現在の工法を選んだ(図5)。

ただ、この選択に疑問を投げかける専門家も存在する。市が設置した液状化対策実現可能性技術検討委員会で委員を務めた東京電機大学の

(図5) 地盤沈下のリスクがネックに

	格子状地中壁工法	地下水位低下工法
特徴	1区画ごとに地中壁を設置する	(1)地下水位を地表面からマイナス5mまで低下させる(地盤沈下量は5年間で約20cm、20年間で約25cm) (2)20年度程度で施設の更新が必要 (3)事業区域内で地盤沈下が発生する恐れがある
概算費用	1地区当たり約7億~9億円	(1)初期費用:1地区当たり約8億~12億円 (2)維持管理費(機械管理費のみ):約1000万~1500万円

浦安市は独自に実施した実証実験の結果に基づいて、格子状地中壁工法については、「コスト面などで課題はあるものの、一定の仕様で対策すれば液状化を抑制する効果がある」と判断。地下水位低下工法については「地盤沈下リスクがあるので市として推奨しない」として、前者の採用に踏み切った

〔図6〕地下水位の下げ方の違い

安田進教授だ。安田教授は「地下水位低下工法で対策した場合でも、地盤沈下は許容範囲に収まる」と指摘している。

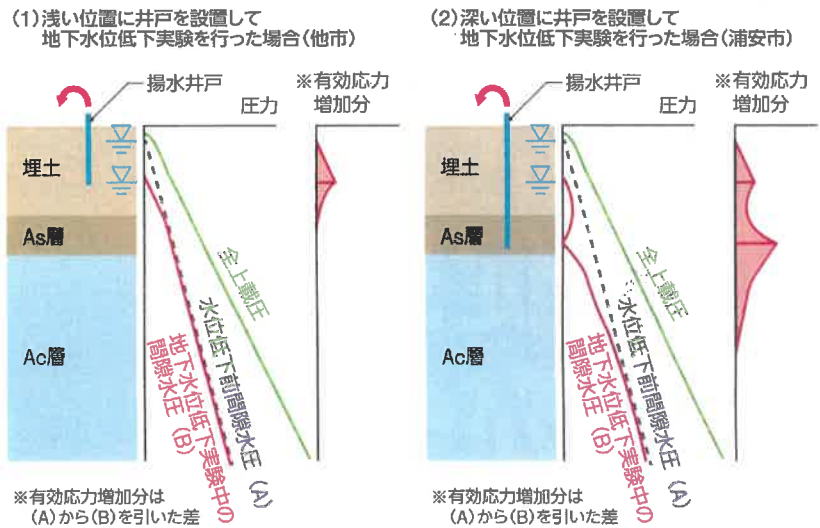
同様の事業を実施したほかの都市では、排水管や浅井戸を約3mの深さに設置し、地下水位を約3m下げて実験した。半面、浦安市は揚水井戸を約15m掘り、地下水位を約5mまで低下させた。

安田教授はこの点を指摘したうえで、次のように主張する。「浦安市のように深くまで地下水位を低下させると、深い位置まで間隙水圧が下がる。有効応力が高まって粘性層の圧密沈下が促され、地盤の沈下量が大きくなった可能性がある〔図6〕」

この主張に醍醐課長は反論する。「海砂で埋めるなど他市と地盤状況が異なるので対策の考え方も違う。『東日本大震災クラス地震が再び来ても液状化させない』という目標を踏まえて検討したところ、地下水位を5mまで下げなければ、十分な効果は出ないという結論に至った」

とはいえ、現状では、東野3丁目地区と弁天2丁目地区を除いて国の支援がなくなった。対策は先送りされる格好となり、今後は、住民が個別に対応するほかない〔図7〕。

市や東畑客員教授は、建て替え時などに対策を講じるよう勧める。「例えば、更地になった宅地の表層5mの部分締め固める方法が比較的安価だ。300万円程度でできるはずだ」(東畑客員教授)



他市が揚水井戸を約3m掘り、地下水位を約3m下げて実験したのに対し、浦安市は揚水井戸を約15m掘り、地下水位を約5mまで低下させて実験を行った。東京電機大学の安田教授は、浦安市では深い位置まで間隙水圧を下げたために、有効応力が増して粘性層の圧密沈下が促進。沈下量が大きくなったとみている(資料:安田 進)

〔図7〕残された道は個別対策のみ

〔家屋の沈下を抑制する工法〕

柱状地盤改良工法		鋼管杭基礎回転埋設工法	
<p>◆特徴</p> <p>(1)多数の施工実績があり、沈下対策として効果を実証済み</p> <p>(2)建て替え時に地盤調査を行い、支持層を確認したうえで実施</p> <p>(3)下水道管など、地下埋設管対策、液状化に伴う噴出土砂の抑制に、別途対策が必要</p>	<p>柱状改良体</p>	<p>◆特徴</p> <p>地中に鋼管杭を貫入し、建物の沈下を抑制する</p>	<p>鋼管杭</p>
<p>◆概要</p> <p>軟弱層の範囲をセメント系固着材で柱状に地盤改良し、建物の沈下を防ぐ</p>	<p>◆概算費用</p> <p>・約250万~300万円/戸</p> <p>・地盤調査・埋設管対策で約100万~200万円/戸</p>	<p>◆概要</p> <p>地中に鋼管杭を貫入し、建物の沈下を抑制する</p>	<p>◆概算費用</p> <p>・約300万~800万円/戸</p> <p>・地盤調査・埋設管対策で約100万~200万円/戸</p>

〔液状化の発生を抑制する工法〕

<p>◆グラベルドレーン工法</p> <p>地盤に砕石で杭を設けて地震時の排水を促すことで水圧の上昇を抑え、液状化しにくくする工法。主に大規模な更地に適用される</p>
<p>◆密度増大工法</p> <p>地盤の密度を高めて、地盤全体を液状化しにくくする。素材に応じて以下のような工法がある</p> <ul style="list-style-type: none"> ・砂杭工法:地盤に砂杭を造成する。主に大規模な更地に適用される ・ドライモルタル締め固め工法:セメントと砂などを混合したドライモルタルを地盤に柱状に充填する。実用化検討中の工法 ・丸太打設締め固め工法:直径20cm程度の丸太を一定の間隔で打ち込み、地盤の密度を高める
<p>◆不飽和化工法</p> <p>地盤にマイクロバブル水(小さな気泡を含んだ水)を注入して、含んだ空気の水圧の上昇を抑えて液状化しにくくする</p>

大半の地区において液状化対策への国費での支援はなくなった。対策の実施には、住民が個別に対応するほかない。費用は自己負担となる。個別の対策工法は、家屋の沈下を抑制する工法と液状化の発生を抑える工法に大別でき、上記のようなものが挙げられる。ただし、いずれも実施のタイミングが建て替え時などに限られる(資料:浦安市の資料に本誌が加筆)