



三次元地盤データベースの整備と活用

人工改変地DB・宅地ハザードマップから三次元土地条件図データへ

安田 岩夫¹

1. 三次元地盤データベース

三次元地盤データは、ここ数年の河川洪水シミュレーションや砂防分野、海岸防災面から、基礎的な地形情報としての要求をみたすとして詳細な地盤DEMデータとして取得で注目され、主に航空レーザー測量手法を用いて取得されている。しかしながら地震防災の視点から見ると、必ずしも現況の詳細な地盤情報だけでは事足りず、特定地震事例においては地震前の地盤情報が、また想定大規模地震については開発前の過去の地盤情報が必要となり、異時間の地盤情報の三次元差分を取ることで、このデータが地震防災や砂防分野で有効に活用できることがわかってきた。

ここでは、地震防災を中心とする防災面から、人工改変地盤の抽出をメイン課題課題をメインに、地震時の地盤変位測定事例を混じえ、三次元地盤データベースの整備と活用事例を紹介するとともに、総合防災上から共有できる基礎的地形地盤情報として、三次元地盤データベース、すなわち三次元土地条件図データベース整備の方向を提案する。位置づけに指針を定めるものである。

2. 大規模地震発災時の地盤被害

大規模地震発生時の地盤沈下や崩落などの地盤災害は、建物や道路、鉄道、地下埋設管などのライフライン施設に大きな被害を及ぼしている。地盤災害は、低地の液状化が発生する埋立地や盛土地の他に、丘陵部において

開発造成された人工改変地の盛土区域とや古くからの地山（自然地形）との境界部、道路造成盛土地などで多く確認されている（図1）。低地の盛土地及び埋立地と丘陵部の開発造成地、さらには幹線道路や鉄道建設地周辺を、人間の手が介在したいわゆる「人工改変地」として括することができる。人工改変地盤は、長い地球の営みにより形成された自然地盤に対して、一般に緩く低密度で、相対的なギャップによる地盤災害が発生しやすい条件にある。

大規模地震災害発生時における我々の生命と社会的財産の損失リスクを軽減化するためには、対象区域に対してついで適切な耐震施工を、優先度を設定し講ずる必要がある。そのための現況の被害予測、そして被害予測のための地形及び土質条件データの取得が課題となる（次頁図2）。本文では、「三次元地盤データベース活用」という大きなテーマのうち、まず人工改変地データの把握について、国土交通省で宅地に特化して事業化される「宅地ハザードマップ」整備を想定し、その整備手法についてまず紹介する。

3. 人工改変地における改変形態

大規模地震による地盤災害の対象となる、盛土をはじめとする人工改変地は、元の自然地形に対し三次元的な改変（開発行為）がなされたもので、古くは湖沼や海岸部の新田開墾、道路造成、河川築堤、埋立てから、最近の鉄道、高速道路建設や、ニュータウン建設などの大規模宅地造成などが対象となる。こ

¹ (株)八州



図1 造成盛土の被害

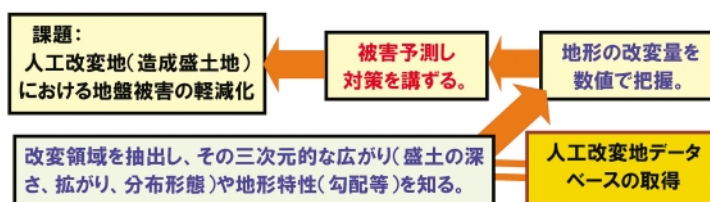


図2 地盤被害の軽減化と人工改変地データベース取得

のうち低平地の海岸部や湖沼、低湿地を埋め立てた新田開発などは、地盤の嵩上げ（盛土）が主体で液状化対象地区でもある。一方丘陵部の人工造成地は、大半が昭和30年代以降の開発地である。小規模な開発の腹付け盛土などについては、周辺地山との関係から改変状況が掴み易いが、ニュータウンなどの大規模な谷埋め盛土造成地については、改変前の様子は現況からは掴みようもなく、盛土分布の判別は極めて困難である。また、造成後の道路などに敷設された地下埋設ライフライン施設などの被害要件も、造成道路の条件に依存する。

広域に分布する盛土の緩い地盤、あるいは造成前後の地形傾斜、地山と改変境界部のギャップなどの条件を正確な三次元位置情報として捉えることが、地盤沈下、地盤崩壊、地盤流動などの地盤被害を予測する上で、必須となるデータである。

4. 人工改変地データベース取得

人工改変地の三次元的な改変量をその位置情報とともに得るには、開発前と開発後の三

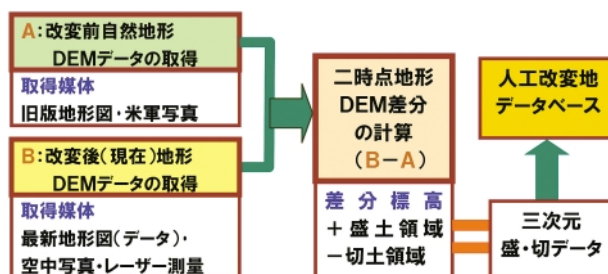


図3 人工改変地データベース作成プロセス

次元地形データからこの差分を取ることで目的が達せられる。具体的には、現在の最新地形図と開発前の古い地形図、航空写真等をもとに比較対照し、人工的な改変があった区域をまず抽出する。次いで抽出区域について現在地形のDEMと古い改変前の自然地形のDEMとを取得し、この三次元差分データを「人工改変地データベース」とする（図3）。

この人工改変地データベースの中で盛土エリア区域が、耐震対策候補エリアになる。

5. 旧地形DEMデータの取得方法

5.1 人工改変データベース取得のポイント

人工改変データベース取得のポイントは、旧地形DEMを目的に応じ精度良く取得することにある。幾つかの取得要件を挙げる。

既往の地形図資料・空中写真資料の確認
と資料の条件下における最も有効な取得
方法の決定

既存の旧版地形図等の資料は、現存する限
られた条件によるもので、資料条件の地域差
もあり、る。有効な資料を選定し、作業手法
を決定し、そこから取得想定精度を見込む必
要がある。

予察

人工改変地の調査対象エリアを最新地形図
上で予察し、あらかじめ測定範囲の絞り込み
を行う。非改変地である自然地形の樹林等
の、意味のない標高差分取得を避けること
や、旧地形DEM取得の元資料区分をあらか
じめ設定する作業になる。

元資料による精度的優先順設定

元資料別に標高DEMデータを取得したの
ち、精度の高いものから順に統合する。(旧

地形DEMデータ)

取得データ精度の有効検証

実際測定取得したDEMの精度を、他の資料
によるデータとの対照により精度検証し、取
得エリア別にデータの精度情報を記録する。

5.2 旧地形データ取得の元資料

改変前の地形データは、より精度の良い新
しい地形図を優先的に利用することが望まし
い。つまり改変直前の地形図資料を選定し利
用することがベストで、このことをを念頭に
置くことよい。

地形図元資料での精度的な価値のあるもの
としては、1/2,500都市計画図の前身である
1/3,000図が、だが本調査にとっては極めて有
効である。

元資料例を図4に示す。これは地歴資料で
もある。



旧版1/20,000迅速図(部分)



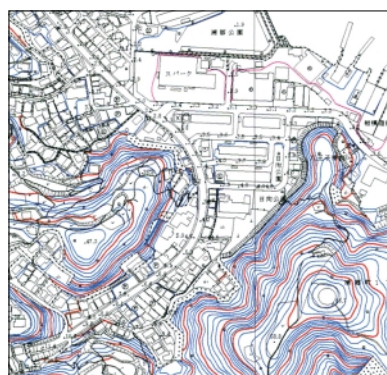
旧版1/20,000正式図(部分)



米軍写真1/48,000(部分)



旧版1/3,000地形図(部分)



最新地形図データ(部分)

図4 地形図資料例
(旧版地形元資料・最新地形図)

5.3 一次抽出（予察）の効果

人工改変予察は、対象区域の盛・切区分の判別を行うのではなく、非改変区域を最新地形図から読み取ることと、ある程度大きな“改変区域”を判別抽出することにある。これは地形数値データ取得の作業対象を絞り込む有効な準備作業である。図5は予察の一例で、改変エリアを取得することで、複数元資料図を用いるケースでのDEMデータ分割取得とデータ統合編集の手がかりとなる。

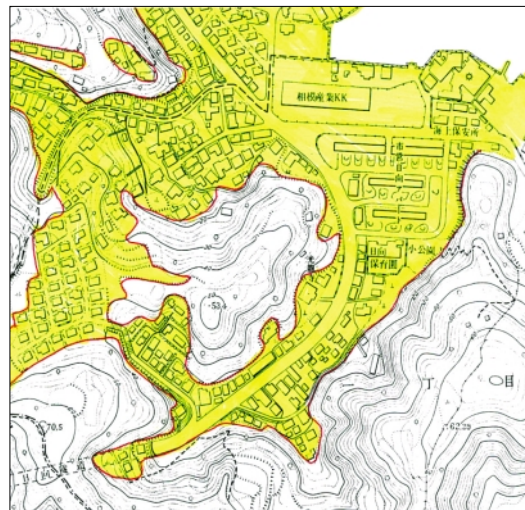


図5 予察による調査エリア設定例

5.4 米軍写真による測定

目的の精度を満たす旧版地形図元資料がない場合は、旧地形DEMを米軍写真により取得する。米軍写真を用いる際には、内部要素をはじめとする様々な誤差要因について十分に配慮し精度の検証が必要である。

米軍写真による地形DEMデータ取得方法は、現在の写真測量と同様に、自動メッシュ測定、マニュアルオペレーションオペレータによる等高線データ取得及びブレイクラインデータ取得の3タイプの方法がある（図6）。

ここでは、開発前の自然地形データ取得が目的であるので、自動メッシュ法ないしは等高線データ取得法が相当標準的といえる。

米軍写真による測定精度目安値については、写真画像個別に大きなばらつきがあるが、筆者の経験からは、ほぼ（表1）のようにまとめることができる。

6. 最新地形DEMデータの取得

～有効なブレイクライン取得法～

最新地形DEMデータの取得は、既成地形図からの数値読み取り、航空レーザーや航空写真から新たに取得する方法、あるいはそれらいずれかの手法により既に整備されたデータを利用する方法など様々である。

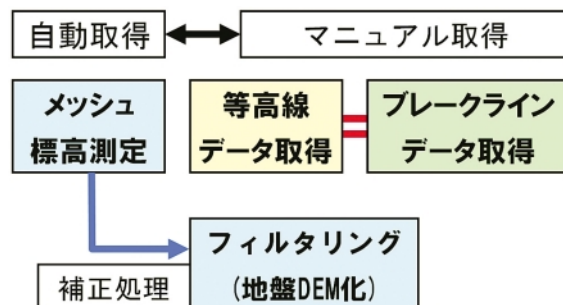


図6 写真測量による地形DEMデータ取得法

表1 米軍写真の標準的な精度（絶対精度）

米軍写真 縮尺タイプ	水 平	垂 直
1/48,000級 (全国カバー)	約±3.0m	約±2.5m
1/12,000級 (主要部カバー)	約±1.0m	約±1.5m

人工改変後地形データの取得ポイントは、複雑な人工地形面を合理的に取得することにある。その意からはブレイクラインデータによる取得と地形モデル構成が、最も効率よく地形面を表す方法と言える。一般地形図からのデータ読み取りでは、道路や盛土法面などで等高線が表示されていないことから、人工斜面の形状を表出するため、傾斜変換線（ブレイクライン）データの補完が必要である。このためには航空写真等を利用する。ブレイクラインの補完イメージを図7に示す。

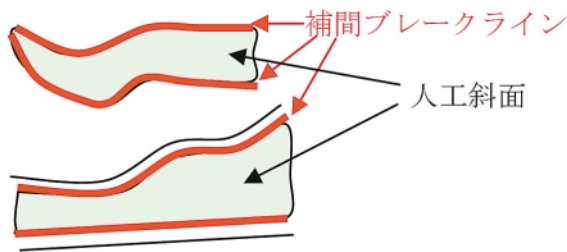


図7-1 補完ブレイクライン取得（平面）

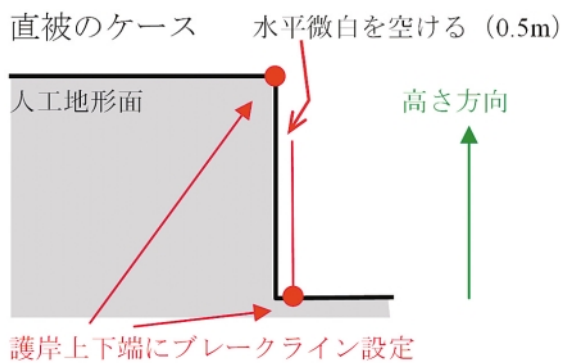


図7-2 補完ブレイクライン取得（垂直）

特に大規模な直被（垂直の擁壁）形態でのブレイクラインデータ設定などが重要である。

人工地形のDEMを取得する際の要点を利用取得媒体別に示す（表2）。人工地形面を表す基本的な構成要素は、ブレイクラインデータである。

7. 人工改変データ算出

7.1 人工改変（差分）データ算出

人工改変データは、予察により改変区域を絞り込んだ上で、[最新（改変）地形DEM] - [旧自然地形DEM] の三次元標高差分により求める。

人工改変差分データ取得の精度は、 $\sqrt{(\text{改変前取得精度})^2 + (\text{改変後取得精度})^2}$ により目安値が求まる。この際、水平精度要素も考慮する必要がある。

7.2 人工改変地データの表示

差分により求められた人工改変地データは、表3に示す要領で領域分けを行う。区分したする数値は、標準的な人工改変地データ

表2 取得媒体別の取得ポイント

取得媒体・取得方法	取得ポイント・要領
航空レーザーで取得	人工地形面の変換線について検証し、必要な補完を加える（ブレイクラインデータを直接取得できない）
空中写真で新たに取得	直接ブレイクラインデータを取得する
既成地形図の数値化	等高線及び標高点を数値化する（人工地形では等高線が読みにくく、ブレイクラインを、他の資料・データで補う必要あり）
最新地形DMデータ利用	人工地形面の変換線についてブレイクライン補完する必要あり（他の資料・データで補う）

表3 人工改変領域とデータ表示

差分データ	決定領域	表示
+ 3 m以上	盛土領域	(薄黄色)等盛土量コンター表示(赤)
+ 3 m ~ - 3 m	改変量の少ない区域	(白)
- 3 m以下	切土領域	(薄水色)
* 元資料の有効精度により、2mあるいは5mの設定となりうる。		

取得精度値を考慮し設定した一例で、作業目的の精度により変わる。

7.3 人工改変地データアウトプット例

表3の設定基準による、人工改変地データのアウトプット例を次頁図8に示す。丘陵地の大規模改変地については、盛・切が複雑に分布する。図8は差分データをそのまま表現した、いわばオリジナル人工改変図版である。

この中から盛土区域のみ抜き出し滑動想定方向の断面図を作成すれば、傾斜（すべり挙動）方向などを加え表示すれば、いわゆる「宅地造成地ハザードマップ」になり、盛土地変動予測調査の第一次スクリーニング報告資料ともなる。（次項参照）

また、オリジナルデータが三次元のDEMデータであることから、CAD的な処理で地形要素の抽出ができる。二時期の任意の位置の

断面の切り出しや傾斜分布を二次的に加工して取り出すこともできる。

図9は、ある造成道路のルートに沿った断面を切り出し表示した例で、ルート方向と直行方向の横断面と併せ、盛土の分布を表示した図例である。

8. 宅地ハザードマップ活用想定例

8.1 補助事業「大規模盛土造成地の変動予測調査」

兵庫県南部地震や新潟県中越地震などの大規模地震において、盛土地の地盤災害が多く確認され、宅地建造物や地中のライフライン施設なども多大な被害を被った。人の生命と

社会財産を守り被害の軽減化をはかるには、人工改変盛土地盤の三次元分布状況を正確に把握することから始まる。国土交通省は、平成18年度より補助事業として自治体が主幹の「大規模盛土造成地の変動予測調査」を開始する。本調査は、宅地の人工改変地に着目し、盛土エリアの分布データ取得と対象盛土区域の抽出の第一次スクリーニングと、これを受けて実施する詳細現地調査と安定計算による地盤変動予測の第二次スクリーニングからなる。その後は「宅地防災区域」を指定し、被害予測規模の大きな箇所から順次、擁壁施工や水抜きボーリング等の耐震施工を実施することになる。

第一次スクリーニングの主要業務が、盛土分布図（ここでは「宅地ハザードマップ」と呼ぶ）の作成である。前項までに記述した「人工改変図」について、宅地の盛土分布図に特化した主題図データであるが、基本的に公開が原則のようである。しかし調査結果には宅地の評価額にも影響するデリケートな要素も含まれるので、公開提示方法については、表示縮尺や定性的非数値表現など、慎重を期す必要もあろう。ちなみに、図10は人工改変

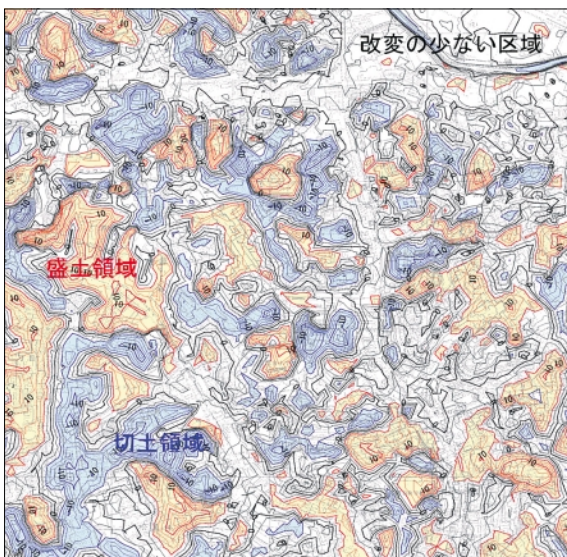


図8 人工改変表示図オリジナル版

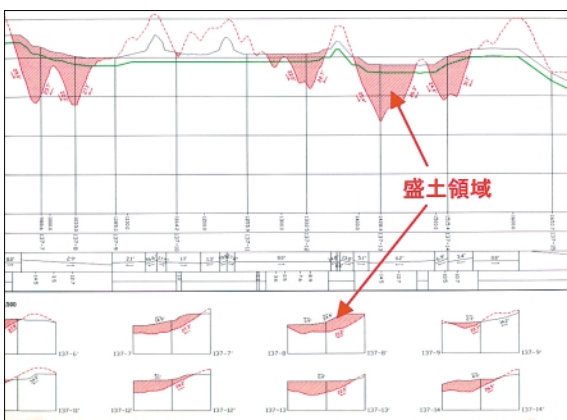


図9 人工改変断面図例

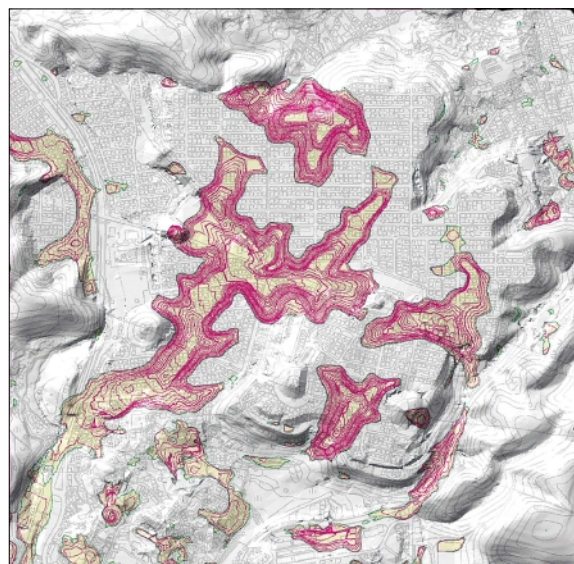


図10 盛土分布図例

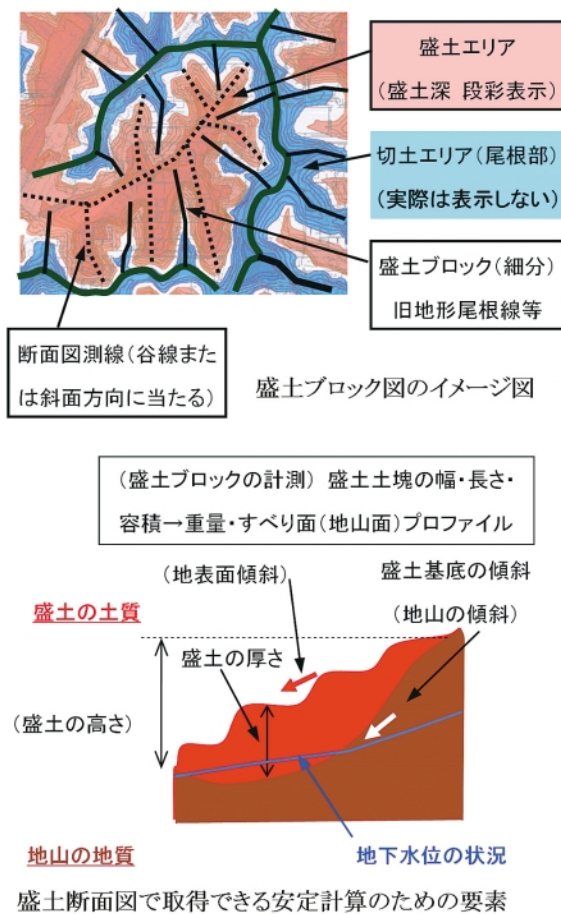


図11 宅地ハザード主題データの表示例

図の盛土に特化して表示のイメージである。

図11に示すものは、盛土ブロック図のイメージ図と想定変動方向の断面モデル図である。深（高さ）グラデーションとその変動想定方向の表示モデルで、造成盛土地盤危険度評価の詳細位置情報が判るイメージで、このあたりは行政機関サイドの運用範囲で留め、非公開とする情報とも考えられる。

8.2 宅地ハザードマップ整備想定

本調査データの公開に当たり、いたずらに危機感をあおり土地評価宅地価値を左右する要素が生まれるとすれば、それは決して本事業の目的でないことは言うまでもないはなく避けるべき方向である。そこで、市民公開版「宅地ハザードマップ」は表現内容・方法を含め十分に検討し、適切な公開資料として、

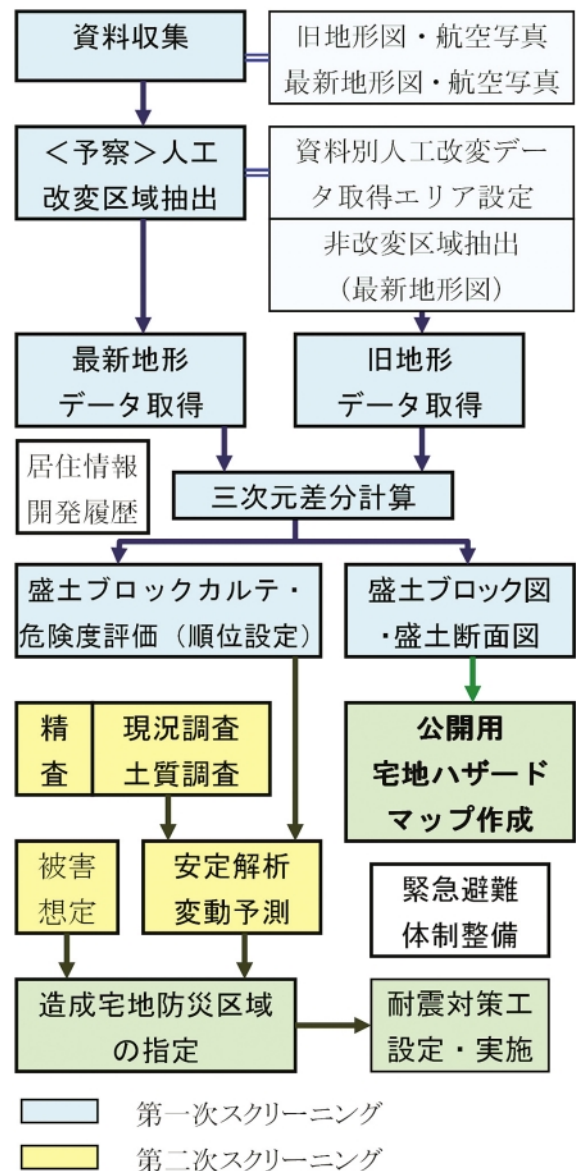


図12 宅地ハザードマップ作成と宅地防災区域指定の想定フロー

行政が把握するデータとは別バージョンで作成すべきと考える（図12：宅地ハザードマップ作成想定フロー）。

例えば、公開用の宅地ハザードマップは、盛土及び切土区域について、をその量的階層（盛土コンター等）の表現を行わず、エリアのみを着色表示し、他の地震防災上の関連情報（急傾斜地区、液状化区域、防災関連施設：避難場所・避難路・病院等）を併せ表示するような内容が良いと思われると思われる。

9. 三次元地盤データベース応用例

人工改変地データ及び宅地ハザードマップは、三次元地形データの時空間差分による四次元データということもできる。三次元地形の差分取得に類するその他のテーマ事例について引き続き紹介する。

1例は「土地条件図」の三次元デジタル化仕様による整備提案で、これはまさに人工改変データ取得手法による微地形区分版ということができ、その意義効果について示す。今1例は、これまで幾つかの大規模地震発災時において、地盤の永久変位(側方流動)測定を実施してきたので、その典型事例と特にユニークな関東大震災時の横浜港事例を紹介する。

9.1 土地条件図の三次元数値化の提案

本提案は、別の測技協主催のシンポジウムにおいて機会にも提案発表したものである。

国土地理院発行の「1/25,000土地条件図」及び各機関で整備されている「地形分類図」は、地形区分カテゴリーが三次元要素を含んだものであることと、自然地形と人工地形とが明確に区分構成される情報であることから、人工改変データ取得にまさに連動する

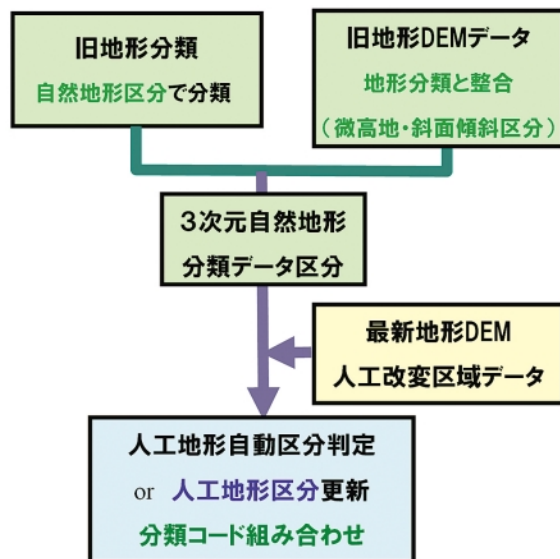


図13 土地条件図の三次元整備の流れ

データといえる。地形区分は、大きくは自然地形区分と人工地形区分から構成されるが、人工地形は当然のことすなわち、かつて自然地形であったものが人工改変された地形である。そしてその改変形態は現在も継続している。

要は、人工改変地データ取得プロセスを「土地条件図」の三次元デジタル化に当てはめ整備すれば、より客観的で有機的な土地条件データとして運用でき、今後の人工改変による更新も容易にルール化できるということである。まず、その整備の流れを図13に示す。

自然地形区分は、旧地形DEMによる地形モデルによりから、傾斜度や傾斜変換線による区分から客観的な自然地形区分が実現できること、さらに人工地形DEMとの差分により人工地形の範囲や盛土の厚さから人工地形区分もまた合理的に対応できる。さらにその人工地形がかつてどのような自然地形であったかも明確に対照でき、地形区分の要ともなる。

この最後の要素に関わることであるが、土地条件図データについては、地形区分をコード化し、改変前地形と改変後人工地形とを対照することで、地歴情報として確認でき地形の変遷がわかることとなる。(図14)

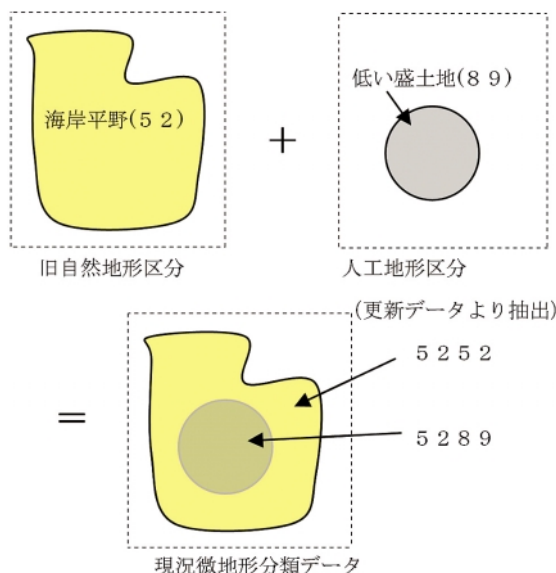


図14 微地形分類データの構成 (模式図)

土地条件図について、の地形区分を考慮し自然地形と人工地形を対照把握するイメージの試作例を、次頁の表4（凡例）及び図15（表示例）に示す。表現方法法として自然地形をカラー着色で、人工地形をモノクロハッチで組み合わせ試みに表現している。ただしここでの地形区分は旧土地条件図区分によるものである。

表4 土地条件図の表示地形区分例

区分	項目	レイヤ	表示	区分	項目	レイヤ	表示
斜面 （山地）	尾根型	01		頻水 地形	天井川の部分	60	
	谷型	02			低水敷・浜	62	
	直線型	03			湿地	63	
	崖	11		水部	落堀	64	
	壁岩	12			潮汐平地	65	
	露岩地	13			内水面	71	
台地	低位面	21			海面	72	
	下位段丘面	22			旧溜池	79	
	中位段丘面	23			人工改変中の区域	80	
	上位段丘面	24			干拓地	81	
	高位段丘面	25			埋土地	82	
山麓堆積地形	凹地・浅い谷	29		人工 地形	凹陷地	83	
	扇状地	31			平坦化地	84	
	崖錘	32			農業用平坦化地	85	
	土石流堆	33			切土斜面	86	
	土石流段丘	34			盛土斜面	87	
低地の微高地	扇状地	41			高い盛土地	88	
	緩扇状地	43			低い盛土地	89	
	自然堤防	45			主要道路・鉄道	90	
	砂堆・砂州	46			堤防	91	
		47			高水敷	92	
低地の一般面	谷底平野	51		LINE	沖積層基底等深線	93	
	海岸平野・三角洲	52					
	後背湿地	53					
	旧河道	54					
	氾濫平野	55			(指定コード) (人工改変なし)	99	

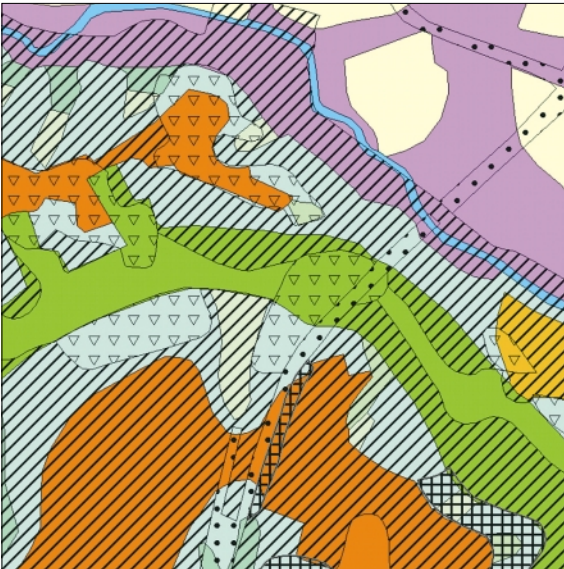


図15 土地条件図（自然・人工対照表示例）

土地条件図データの三次元化運用の利点についてを整理する。

個人差によるあいまい判読区分要素が軽減化されること。

三次元データによる地形区分で、客観性が向上すること。

デジタルデータによる合理的なエリア対照（ポリゴンの重ね合わせ）ができること。

合理的な地形履歴の管理（コード化）とデータ更新が容易に任意にできること。

9.2 地盤の永久変位測定

大規模地震発生時に地殻変動が生じ、その変動量などが地理院のHPで紹介されるようになってきた。これは電子基準点設置整備による効果である。

しかし、本テーマで挙げた人工改変地、造成盛土地などの地盤の変形は、地殻変動とは別に地下水や表層地盤条件を要因とする変位（側方流動）である。災害現象としては、低平地や埋立地の液状化流動、丘陵造成地や道路盛土地等の崩壊、さらには急傾斜地の崩落などあるが、地盤歪みや不同沈下を起こし、埋設管や建物などの構造物に多大な被害を及ぼすことが判っている。

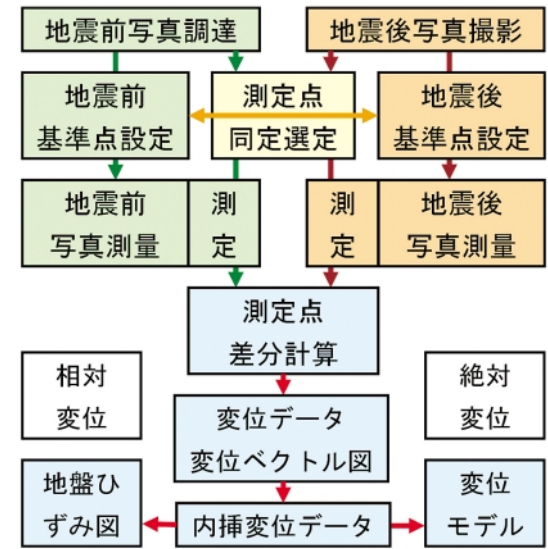


図16 地震による地盤変位測定フロー

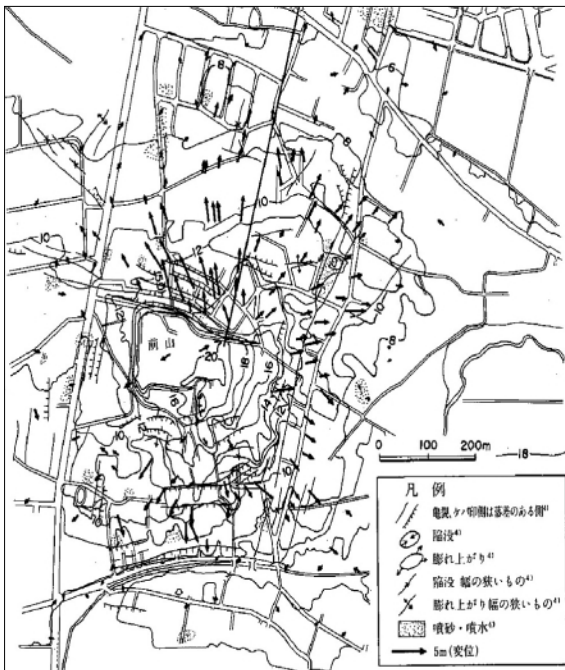


図17 1983日本海中部地震（能代市前山）地盤の永久変位図 測定精度25cm

これまで、大規模地震による地盤の変位測定は、地震前測定媒体としての航空写真と、地震発生直後に撮影の航空写真を求め、人工改変（経年変化）によらない、同定できる地盤上のターゲットを選定し、それぞれ独立に写真測量で求めたターゲットの三次元座標について、（地震後座標）－（地震前座標）の三次元座標データの引き算による結果を変位量として算出してきた。

図16に標準的な変位測定フローを示す。

これまでの測定事例のうち代表的な測定結果（1983日本海中部地震、能代例、1964新潟地震、信濃川下流例）を図17及び図18に示す。なお、この測定調査は（財）地震予知総合研究振興会の計画により実施したものである。

9.3 事例(関東大震災：横浜港の地盤変位)

地盤変位測定のごく特殊なケースで、関東大震災時の横浜港の地盤変位のマッピングと変位量測定をトライした事例があるので、測量技術大会の横浜開催にちなんでその経緯を紹介する。

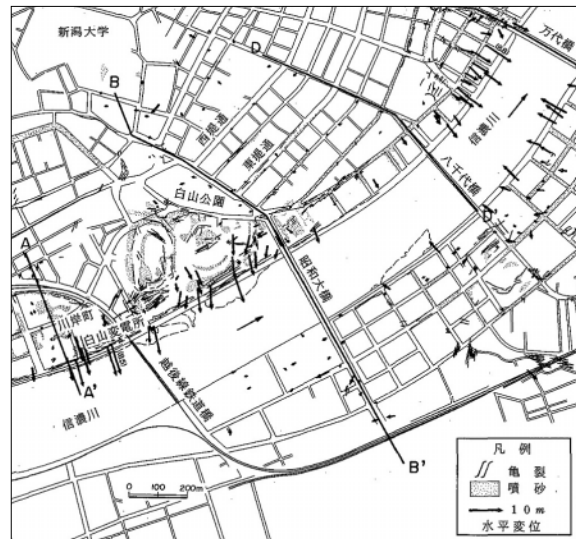


図18 1964新潟地震（新潟市信濃川下流部）地盤の永久変位図 測定精度85cm



図19（横浜）大正12年地形図と震災後写真範囲

航空写真撮影は、日本においては大正5年頃より実施されていたとの記述がある。関東大震災（大正12年9月）時に、当時としてはかなり精力的に空中写真撮影がなされたとの記録もある。「大正震災写真集（関東戒厳司令部）」などに航空機からの斜め撮影写真が多く掲載され、一部垂直写真も存在する。当時のほぼ垂直に近い写真が横浜港付近で2点掲載され、写真帳画像で40%ほど重複部が存在した。これは別の位置から撮影した写真であることから、かなり強引ではあるが写真測量による変位測定を試みた。

震災前測定媒体は、大正12年測図の1/10,000地形図（図19）震災後測定媒体は航

空写真（印刷物）の複製で、縮尺約1/8,000（図20-1、20-2参照：撮影範囲は図19に示す）図19内に開港時埋立て造成前のオリジナル横浜砂州の範囲を示すが、この区域で不動仮定基準点を設定。海面高基準点を含み基準点に対する絶対精度は、水平で5.5m、垂直で1.5mであった。当然基準点設定条件は悪いが、相対的な変位精度についていえば、その値は水平でおよそ3.4m程度と見込まれた。

地盤被害（亀裂、崩落、冠水域）と永久変位量の測定を試み実施した（図21）が、これは使用媒体条件からして、到底の最も悪い写真測量とは言えないレベルのもの事例でもある。

関東地区において、で来たる大規模地震の

対応のための策として、実データ際の当該地の地震事例として地盤変位量が測定できるとすれば、これは非常に貴重なデータとなる。本来の写真媒体（乾板）をもとに測定できるに越したことはないが、過去の埋もれた測定媒体を探し出すのも実は重要なことである。

10．あとがき

「三次元地盤データベースの活用」をテーマキーワードの括りとして、地震防災上の地盤条件データである人工改変地データベース整備の実例事例を紹介した。これは今年から旬の事業である大規模造成盛土地の変動予測調査における盛土分布図及び「宅地ハザードマップ」作成に密接に絡む内容の作業である。開発前の旧地形と開発後（現在）の地形の三次元差分データ取得により求める情報であるが、そのデータが三次元であるが故に、一団の盛土の厚さ、傾斜、面積、体積までも所定の精度のデータとして簡易の安定計算に供することが出来る。これは画期的なことである。

異時空間の三次元地盤の比較差分をとる求める手法のによる事例として、地震防災時の地盤の変異量（側方流動）の測定を紹介した。

また、地震災害に限定せず広く防災上面の



図20-1 震災直後空中写真（横浜1）



図20-2 震災直後空中写真（横浜2）



図21 震災地盤被害図（横浜港）

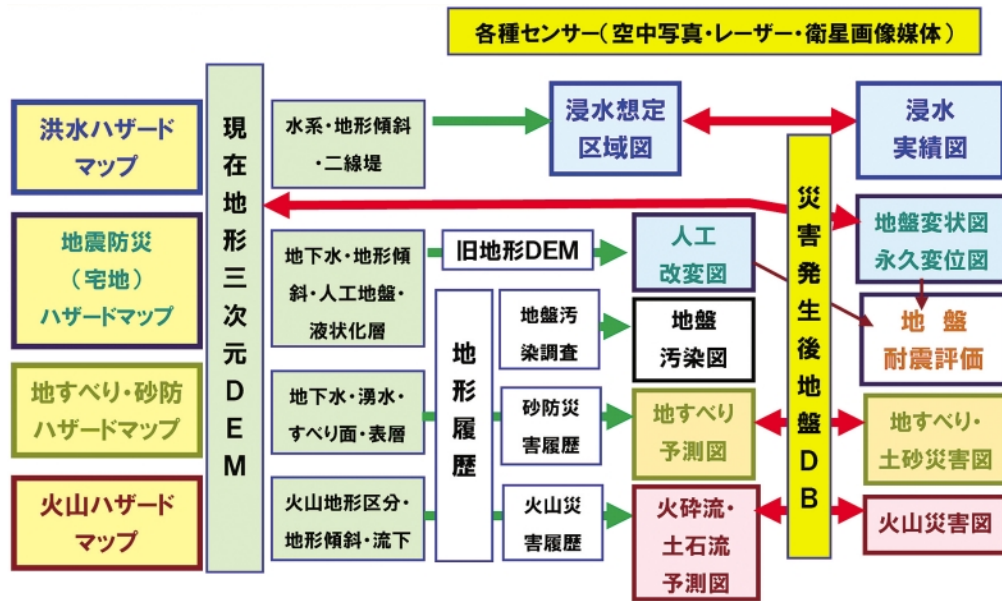


図22 総合災害三次元地盤データベースと対応災害事例

基盤礎データとして地盤データを捉えると、そこには土地条件図データの三次元化と時系列履歴管理構成の方向が見えてくる。おそらく地盤の供用データベースはこの三次元土地条件図データベースに収れんするものと筆者は考える次第である。

最後に整理の意味も含めて、三次元地盤データベースとその活用（災害事例）についての関係図（図22）を示してまとめとする。土地条件図の有機的三次元化の実現を願いつつ。

（発表日2006年7月7日）

■ 発表者紹介

安田 岩夫（やすだ いわお）

所属：株式会社八州 技術開発室

E-mail:i-yasuda@hasshu.co.jp