

# 都市における地下水利用について

## —事例紹介と熱利用の提案—

**森ビル株式会社**



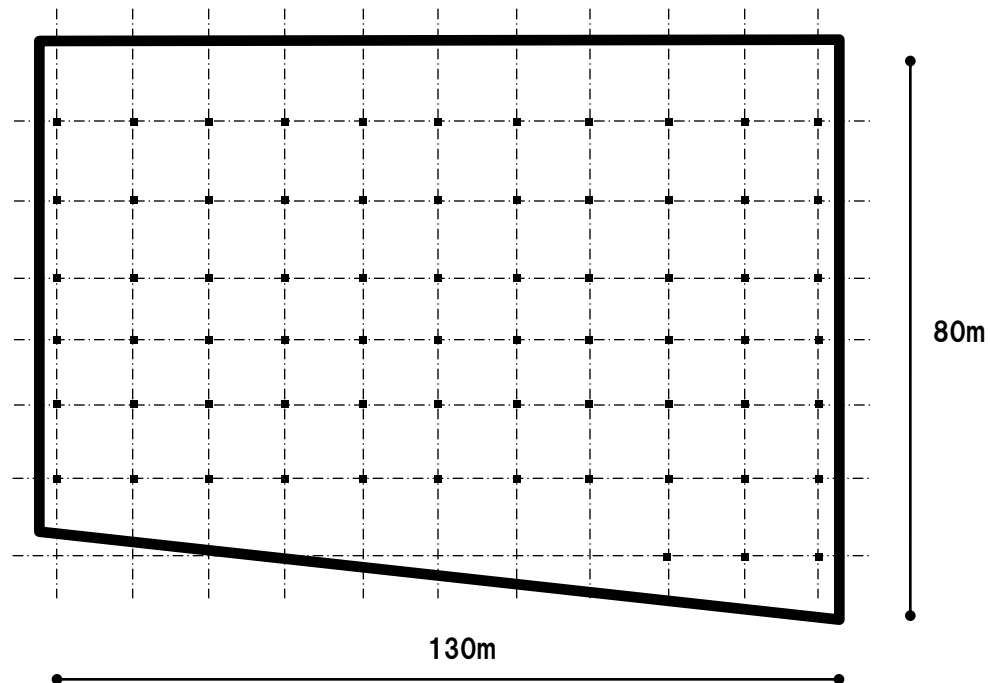
**大森一郎**

- 1. 熱資源の地下水 都心大規模ビルのケーススタディ紹介**
- 2. 水資源の地下水 揚水規制について  
非常災害用井戸について**
- 3. 非常災害用井戸の常時利用について**

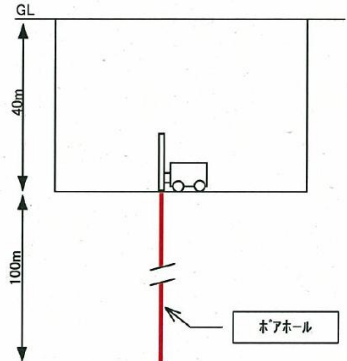
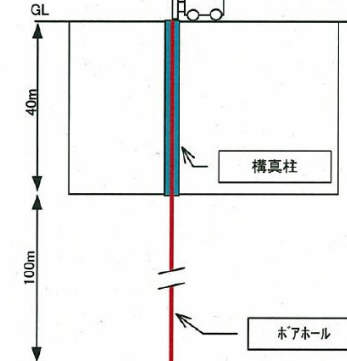
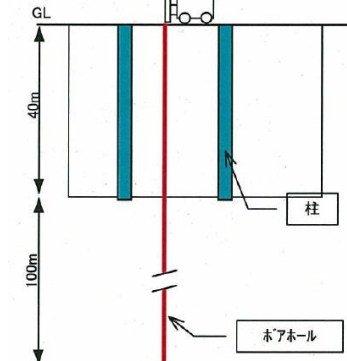
## クローズシステムのケーススタディ紹介

- ・ 検討対象 : 東京都中心市街地再開発
- ・ 敷地規模 : 約10,000m<sup>2</sup> (130m×80mの台形型)
- ・ 建物規模 : 地上12F (高さ55m)  
地下6F (耐圧盤下部までGL-38.5m)

平面図



## 地中熱利用システム ボアホール施工比較

	A.地下掘削	B.構真柱（逆打工法）利用地上掘削	C.地上掘削
			
施工概要	低盤レベルよりボアホール掘削	構真柱に沿わせた仮設鋼管を利用し、地上レベルよりボアホール掘削	柱を避けた位置で地上よりボアホール掘削
掘削長	100m	100m	140m
施工長	100m	140m	140m
メリット	施工長が短い ボアホール掘削の自由度が高い	地上からのボアホール掘削で施工性がよい	地上からのボアホール掘削で施工性がよい ボアホール掘削の自由度が高い
デメリット	仮設材に干渉する 掘削時の残土処分に手間がかかる 地下掘削後の作業で工期が延びる	ボアホール掘削本数が柱本数に限定される	地下掘削時のリチューブ防護で工程に影響 施工長・掘削長ともに長い
概算コスト	370,000千円	390,000千円	410,000千円

## 地中熱ヒートポンプシステム比較

比較項目			空冷HP	地中熱HP	
温熱源機器				地中熱交換器 L=100m×168本	
			空冷ヒートポンプ 温熱1,104kW	水熱源ヒートポンプ 温熱1,596kW	
製造熱量	GJ/年		6,384	6,384	
システムCOP	-		2.98	3.36	+13%
エネルギー消費量	電力量	kWh/年	594,957	528,288	
環境性	1次エネルギー	GJ/年	5,807	5,156	
	CO <sub>2</sub>	t-CO <sub>2</sub> /年	202	179	
ランニングコスト	電気料金	千円/年	4,092	3,651	-11%
イニシャルコスト	補助金なし	千円	0 (基準)	400,000	
	補助金あり	千円	0 (基準)	200,000	

※温熱専用負荷を地中熱分担分とし、同等分を冷熱負荷と想定

## クローズシステムのケーススタディ

### 結果と考察

- ・ 空冷ヒートポンプに比べ、約11%の省エネルギー効果がある
- ・ ただし、都心の大規模ビルでは、ボアホールの施工制限で地中熱HPの装置容量が限られる
- ・ よって、本ケーススタディでは地中熱HPは全装置能力の約10%で省エネのインパクトが小さい
- ・ また、ボアホールの施工費を空冷HPと比べた省エネコストで回収できそうにない

# 「東京都の地盤沈下と地下水の再検証」について

—平成22年度地下水対策検討委員会のまとめの要約—

## ①検証および再検証の趣旨

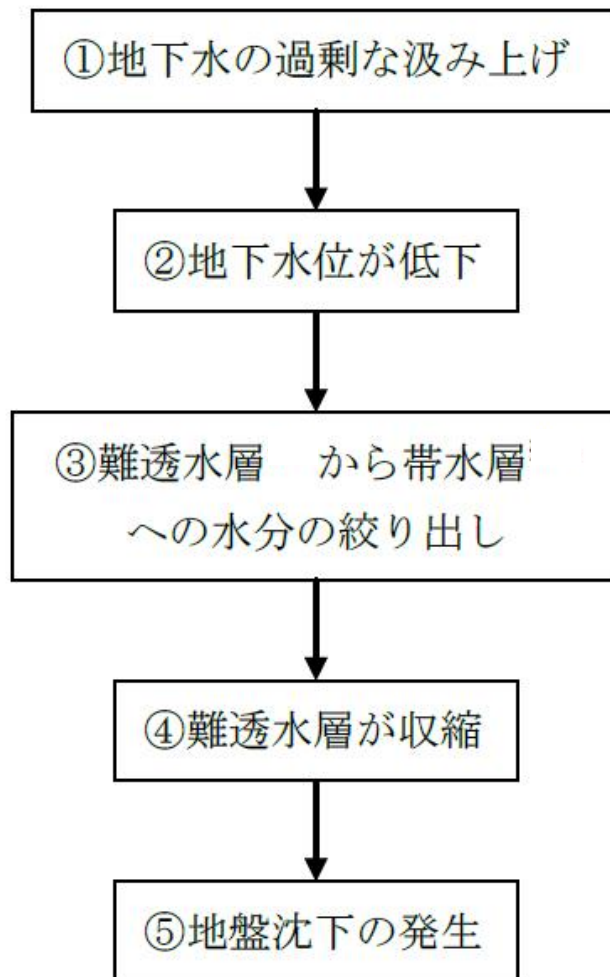
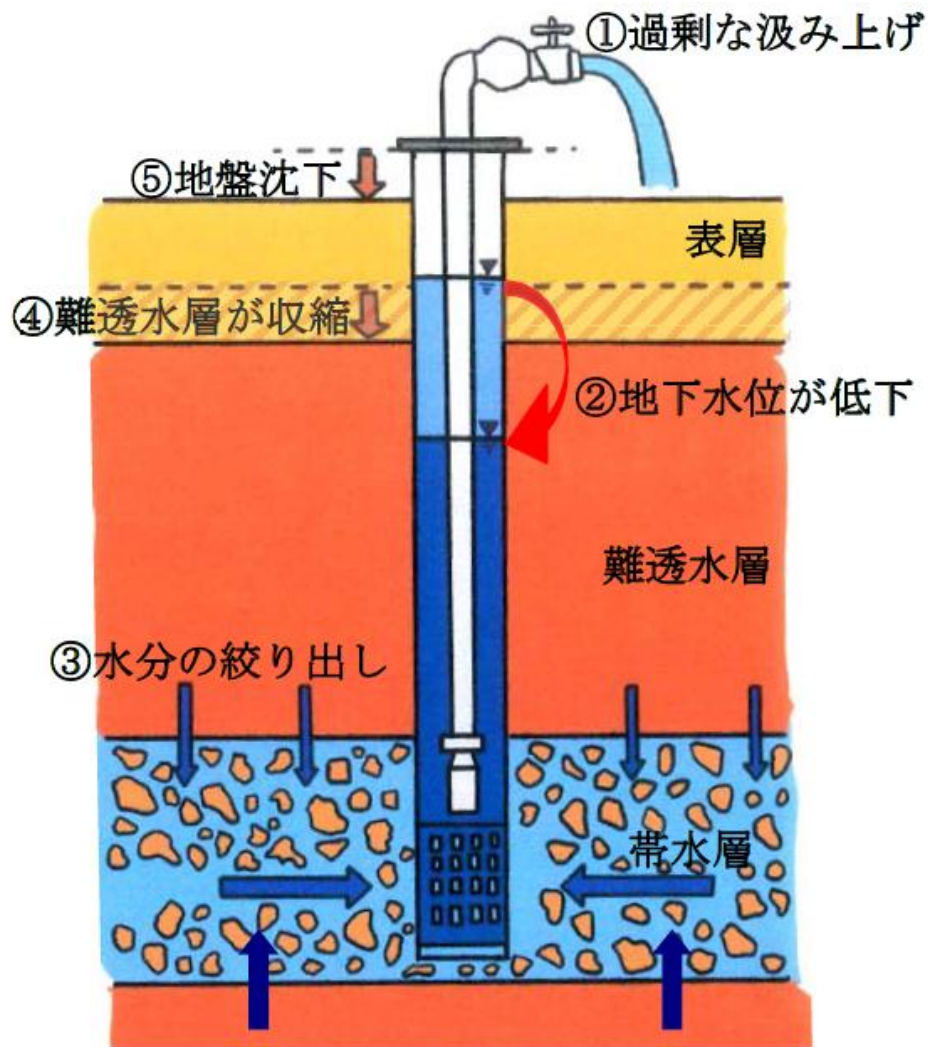
- ・東京都は、法律や条例に基づき地下水の汲み上げ規制を進めた結果、地下水の汲み上げ量の削減により地下水位が上昇し、地盤沈下は沈静化傾向にある

- ・東京都は、平成17年度に「地下水対策検討委員会」において、東京都内の地盤沈下と地下水位の現況を検証した

⇒このまま規制を続け5年間様子を見よう

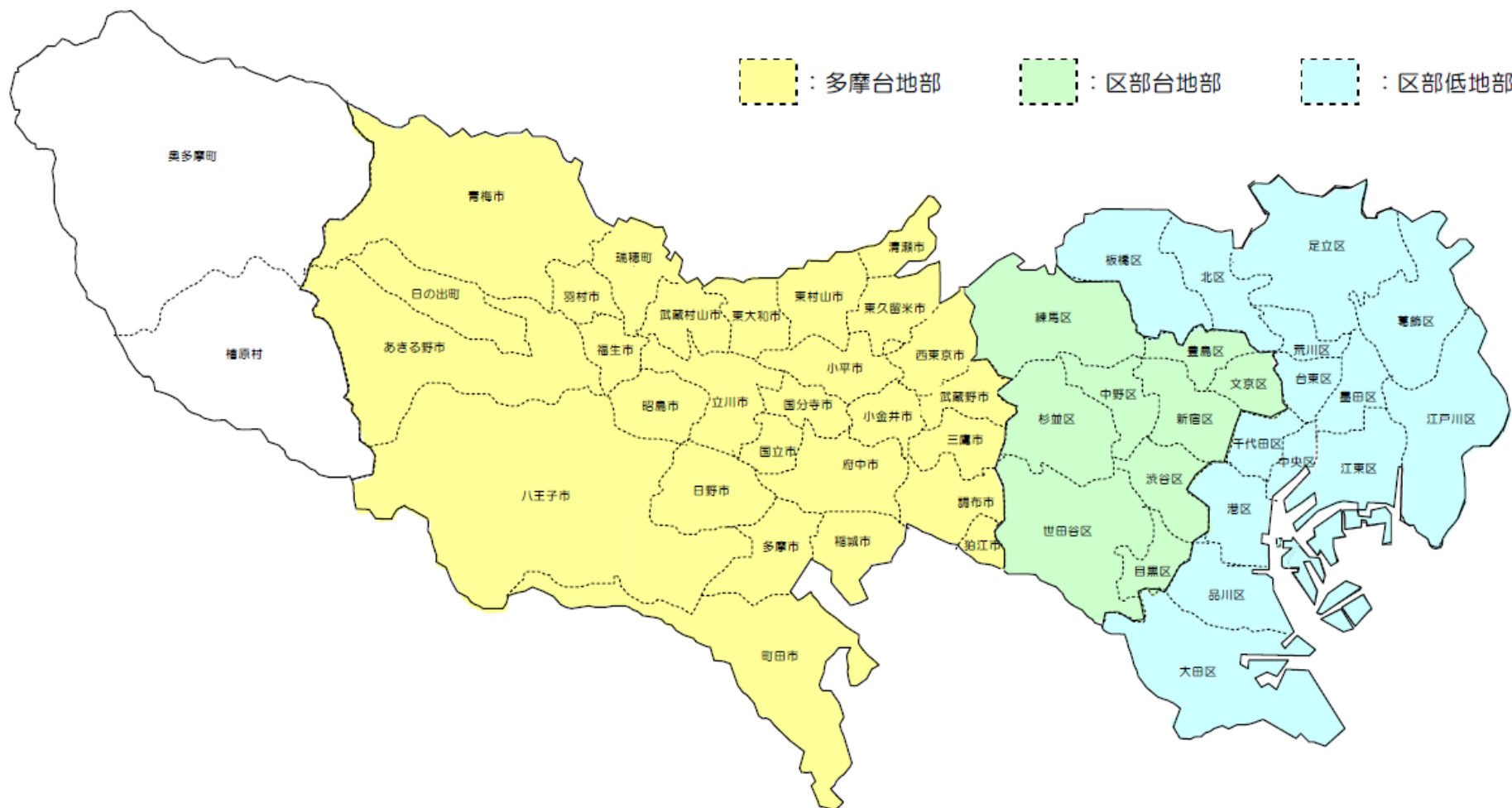
- ・都内の地盤沈下、地下水及び揚水量の状況について、平成17年度に実施した前回検証から5年が経過したことから、この間に蓄積された観測データに基づき再検証

### ②地盤沈下のメカニズム





### ③地域区分



※東京都環境局HP「東京都の地盤沈下と地下水の再検証」報告書より

### ④東京都における揚水規制

	工業用水法	ビル用水法	条例・その他事項
S31	工業用水法施行		
S36	江東地区（江東、墨田、江戸川（一部）、荒川）を地域指定		
S37		ビル用水法施行	
S38	城北地区（北、板橋、足立、葛飾）を地域指定	都内14区を地域指定	
S45			公害防止条例施行
S46	許可基準強化（順次、井戸を強制転換）		
S47	江戸川区東部を地域指定	許可基準強化（順次、井戸を強制転換） 残りの9区（練馬区等）を地域指定	公害防止条例の規制地域・構造基準施行 （実質的な規制の開始）鉦業権の買収・揚水停止
S49		許可基準不適合井戸の強制転換が完了	
S50			水使用合理化の施行規則改正 （地下水使用合理化を順次要請）
S52	許可基準不適合井戸（江戸川区を除く）の強制		
S55	許可基準不適合井戸（江戸川区）の強制転換が（全て完了）		
H13			環境確保条例施行

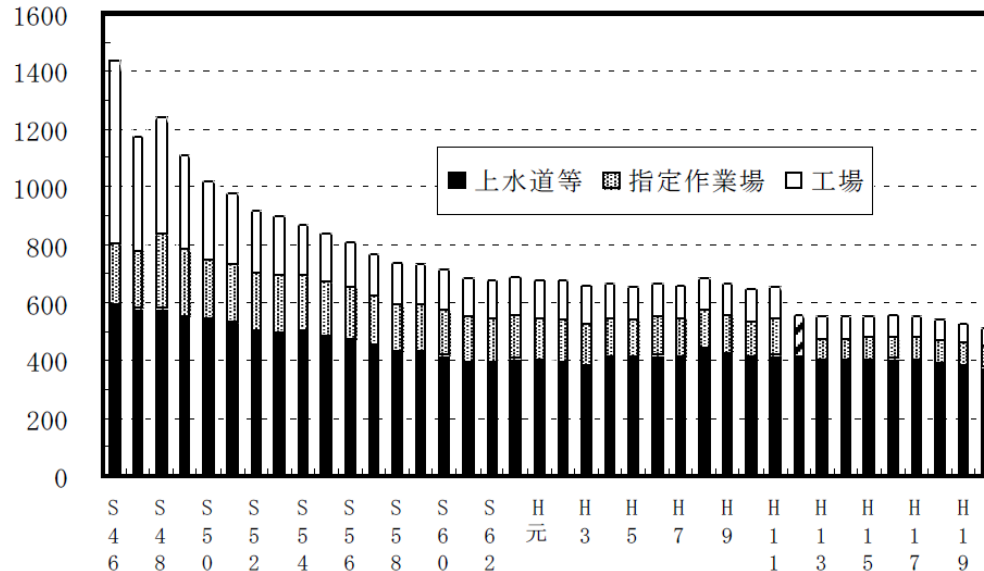
## 2.水資源の地下水 揚水規制

### ⑤地下水揚水量の推移

表－5 地下水揚水量の推移 (千m<sup>3</sup>／日)

		昭和46年	昭和50年	昭和55年	昭和60年	平成2年	平成7年	平成13年	平成14年	平成15年	平成16年	平成17年	平成18年	平成19年	平成20年
事業所数	区部計	1,276	583	404	366	319	280	1,250	1,383	1,558	1,525	1,590	1,630	1,670	1,675
	多摩計	642	725	710	713	662	608	848	875	1,041	996	1,053	1,093	1,159	1,150
	計	1,918	1,308	1,114	1,079	981	888	2,098	2,258	2,599	2,521	2,643	2,723	2,829	2,825
揚水量	区部計	550	206	142	118	116	111	47	45	45	44	43	42	43	41
	多摩計	891	811	695	594	558	547	507	506	509	512	505	495	482	471
	計	1,441	1,017	837	712	674	658	554	551	553	556	549	537	525	512

(千m<sup>3</sup>／日)



図－18 地下水揚水量の推移

### ⑥結果のまとめ

- ・地盤沈下は揚水規制などにより沈静化しているが、地層別に解析した結果、沖積層は、現在も引き続き収縮している
- ・洪積層は、地下水位の上昇により若干膨張しているが、近年は、膨張量が縮小している
- ・地下水位が上昇しても、地盤が沈下することがある上、一旦沈下した地盤は、元の地盤高には回復し得ない

#### まとめ

- ・現状以上の揚水を行った場合、地下水位が低下し、特に区部低地部においては、現在の沖積層の収縮に加え、洪積層が再び収縮に転じ、地盤沈下が進行する可能性が高いため、現行の揚水規制が不可欠である



### ①非常災害用井戸の法的位置づけ

#### 東京都環境確保条例 (要約)

#### 地下水の揚水施設の構造基準及び揚水量の制限

##### 第76条

地盤沈下の防止の対策が必要な地域内において、地下水の揚水施設を設置するときは、揚水機の吐出口の断面積の上限、ストレーナーの位置、揚水機の出力を規則で定める基準に適合させなければならない※1。

2 規則で定める揚水量を超えて地下水を揚水してはならない※2

3 **次の各号に掲げる揚水施設は前2項の規定は適用しない**

- 一 工業用水法による許可の対象となる井戸
- 二 温泉法による許可の対象となる揚水施設
- 三 水道法に基づき水道事業経営の許可を受けた揚水施設
- 四 **非常災害用等公益上必要と知事が認める揚水施設**
- 五 地下水以外の水源確保が困難であると知事が認める場合

※1 構造基準 配管口径 25A以下で ポンプ2.2kW以下  
配管口径 25A～50Aで ストレーナ500m以下

※2 揚水基準 配管口径 25A以下で 10m<sup>3</sup>/日以下

### ②森ビルの非常災害用井戸

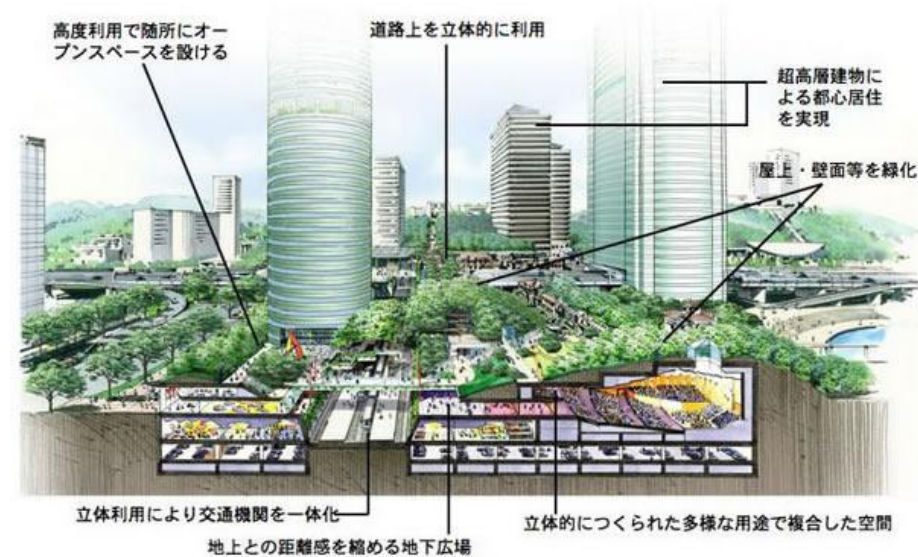
#### 森ビルの街づくりの理念

- バーティカルガーデンシティ
- 文化都心
- 逃げ出す街から「逃げ込める街」へ

#### 「逃げ込める街」

= 災害被害のミニマム化 + 災害後のビル機能確保

⇒ 大規模建物には非常災害用井戸を設置する



### ③行政と森ビルとの防災協定

#### 「民間非常災害用井戸」の指定に関する協定書（抜粋）

〇〇区と森ビル株式会社は、「民間非常災害用井戸」に関し協定を締結する

■目的 大地震等の災害が発生した場合及び長期的な断水が生じた場合において、一般住民の生活用水及び消火用水の確保を図ること

■指定 大地震、近隣の火災等の災害時のみ揚水する井戸であること

■使用 大地震等の災害時及び長期的な断水が生じた場合において、森ビルは井戸を港区及び近隣住民から申し出があったときは、これを使用させるものとする

#### 「民間非常災害用井戸」の指定に関する協定書

〇〇区（以下「甲」という。）と森ビル株式会社（以下「乙」という。）は、甲が指定する「民間非常災害用井戸」（以下「井戸」という。）に関し、次のとおり協定を締結する。

#### （目的）

第1条 この協定は、次条に定める井戸の使用及び維持管理等について、必要な事項を定めることにより、大地震、近隣の火災等の災害が発生した場合及び長期的な断水が生じた場合において、一般住民の生活用水及び消火用水の確保を図ることを目的とする。

#### （指定）

第2条 甲は、次に掲げる基準に適合するときは、所有者の承諾を得て井戸として指定するものとする。  
(1) 大地震、近隣の火災等の災害時のみ揚水する井戸であること。ただし、維持管理上の揚水はこの限りではない。



## ④設置例（＝六本木ヒルズ）

### 六本木ヒルズ森タワー

設置時期 : 2003年

掘削深度 : 80m

井戸口径 : 350mm φ

総揚水量 : 700m<sup>3</sup>/日

提供水量 : 120m<sup>3</sup>/日

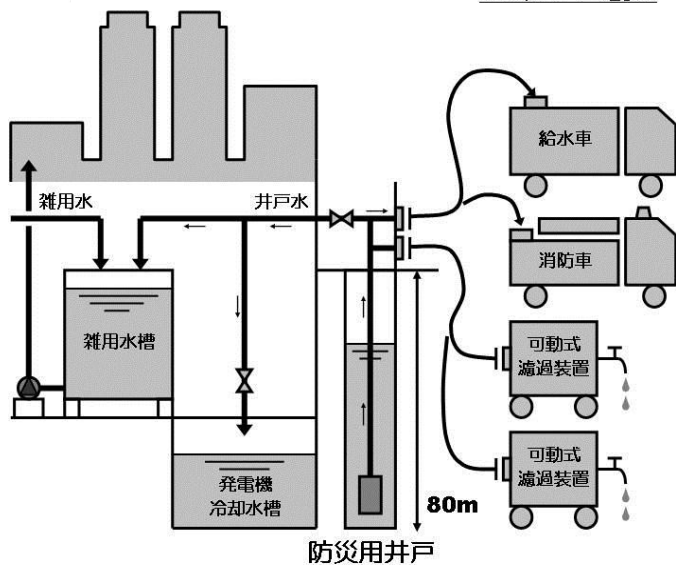
揚水能力 : 500リットル/分



非常災害用井戸水採水口

### 六本木ヒルズ

近隣地区へ配水



毛利庭園井戸水放水訓練



### ⑤非常災害井戸の揚水量計画

災害時において必要とする揚水量は、建物内に居住している人の生活や建物の機能を維持していくために必要最低限とする量を計画するまた、周辺近隣の防災活動や必要となる水量を想定し算出する。

#### <災害時の使用用途想定>

##### ①建物用雑用水

→20m<sup>3</sup>/5000坪(阪神大震災より)にて想定

##### ②非常用発電機用冷却水

→発電機に必要な冷却水量

(基本は**事務所48時間、住宅72時間稼動**に供給できる水量)

##### ③近隣用雑用水、防火用水

→区に提供する水量(**協定書の必須事項**)

##### ④建物の重要な施設の補給水

→冷却塔などの必要となる補給水を計画する

# 2.水資源の地下水 非常災害用井戸

## ⑥森ビル「非常災害用井戸」の一覧 (年代順)

	建物新築と同時に井戸設置			既存井戸											施工中井戸		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	アークヒルズ	虎ノ門37 森ビル	森ビル芝公園 住宅	森ビル六本木 住宅	アークフォレスト テラス	後楽森ビル	赤坂溜池タワー	愛宕グリーン ヒルズ	元麻布ヒルズ	六本木ヒルズ 森タワー	六本木ヒルズ レジデンス	オランダヒルズ	表参道ヒルズ	平河町森タワー	虎ノ門六本木 再開発計画	2125森ビル 建替え計画	環状二号線計画
井戸設置時期	1995	1997	1998	1998	1999	2000	2000	2002	2002	2003	2003	2004	2004	2009	施工中	施工中	施工中
所在地	港区 赤坂	港区 虎ノ門	港区 芝公園	港区 六本木	港区 六本木	文京区 後楽	港区 赤坂	港区 愛宕	港区 元麻布	港区 六本木	港区 六本木	港区 虎ノ門	渋谷区 神宮前	千代田 平河町	港区 虎ノ門	港区 六本木	港区 虎ノ門
井戸深度 <sub>m</sub>	152m	90m	40m	40m	150m	90m	110m	150m	150m	80m	120m	100m	85m	100m	100m	100m	100m
井戸口径 <sub>mmφ</sub>	200φ	250φ	100φ	100φ	150φ	250φ	250φ	350φ	350φ	350φ	250φ	250φ	250φ	300φ	300φ	300φ	300φ
総揚水量 <sub>m³/日</sub>	1300	860m³	30m³	30m³	144m³	500m³	432m³	680m³	300m³	700m³	500m³	720m³	432m³	500m³	750m³	750m³	750m³



### ⑦森ビル「非常災害用井戸」のまとめ

#### 森ビルの非常災害用井戸

1. 設置目的 : 災害時の防災用水、生活水の確保（消火用水、発電機冷却水、トイレ洗浄水、等）
2. 設置数 : 既存14箇所、施工中3箇所
3. 所在地 : 東京都心（既存14箇所の内訳 : 港区11、千代田区1、渋谷区1、文京区1）
4. 設置時期 : 阪神淡路大震災のあった1995年にアークヒルズにて災害用井戸設置、以降コンスタントに設置し続けている
5. 井戸口径 : 平均300mmφ（最小100mmφ～最大350mmφ）
6. 深 度 : 平均100m（最浅40m～最深150m）
7. 揚水量 : 既存14箇所の揚水可能総量：約7,000m<sup>3</sup>/日（1箇所平均500m<sup>3</sup>/日）

森ビルの揚水可能総量7,000m<sup>3</sup>/日  
=東京都全体の地下水揚水量(=512,000m<sup>3</sup>/日)の 1.4% 分に相当  
=港区全体の地下水揚水量(=1,320m<sup>3</sup>/日)の 530% 分に相当

# 3.非常災害用井戸の常時利用について

## ① 「非常災害用井戸」の熱的ポテンシャル

井戸水を空調利用する場合、潜熱利用の方が熱的ポテンシャルははるかに大きい

### 『水』として利用

( 冷却塔補給水として水利用する場合 )

森ビルの平均的な井戸1箇所

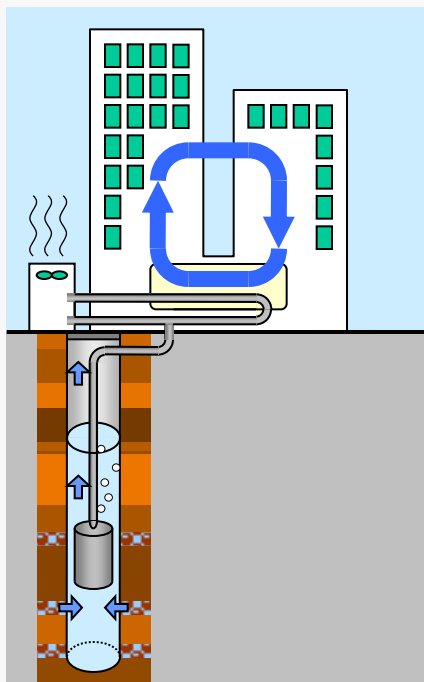
=ビル床面積約50,000㎡を賄う冷却塔補給水として利用できる

#### ■計算式

$$(500\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \div 24 \div 60) \div (13\%/\text{分}/\text{RT} \times 0.015) = 1,780\text{RT}$$

$$(1,780\text{RT} \times 3024 \div 0.86 \div 1.3) \div \text{原単位}95\text{W}/\text{m}^2 = 50,000\text{m}^2$$

(事務所延べ床面積)



1リットルの水を補給水として蒸発潜熱利用する場合=539kcal



### 『熱』として利用

( 冷却水として熱利用する場合 )

森ビルの平均的な井戸1箇所

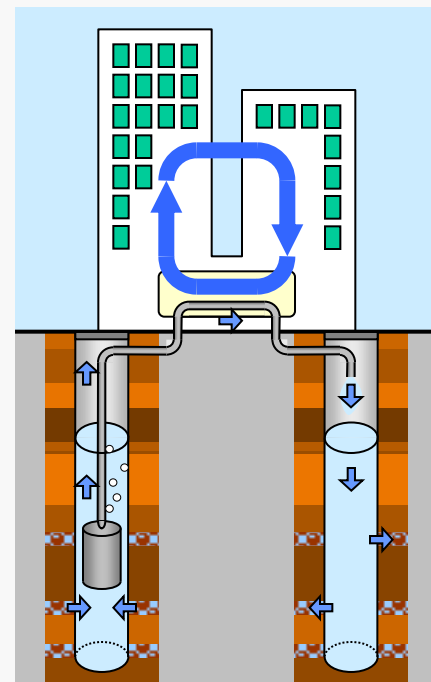
=ビル床面積約1,000㎡を賄う冷却水として利用できる

#### ■計算式

$$(500\text{m}^3/\text{日} \times 1,000 \div 24) \times 5\text{deg} = 104,166\text{kcal}/\text{h}$$

$$(104,166\text{kcal}/\text{h} \div 0.86 \div 1.3) \div \text{原単位}95\text{W}/\text{m}^2 = 1,000\text{m}^2$$

(事務所延べ床面積)



1リットルの水を往き返り5deg差で顕熱利用する場合=5kcal

### 3.非常災害用井戸の常時利用について

#### ②冷却塔補給水・井戸水利用について

##### ○省CO<sub>2</sub>効果

水道水※1      0.200kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>

井戸水※2      0.053kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>

↓約7割削減

##### ○供給能力

7,000m<sup>3</sup>/日として、省CO<sub>2</sub>効果は1t-CO<sub>2</sub>/日

##### ○課題

井戸水含有成分（Fe,Mn）の冷却塔等設備機器への影響

※1 東京都水道局 [http://www.waterworks.metro.tokyo.jp/customer/life/g\\_keisan\\_co2.html](http://www.waterworks.metro.tokyo.jp/customer/life/g_keisan_co2.html)

※2 深井戸ポンプ電力量をCO<sub>2</sub>換算した 電力原単位は環境省提示0.378kg-CO<sub>2</sub>/kWhにて計算

### 3.非常災害用井戸の常時利用について

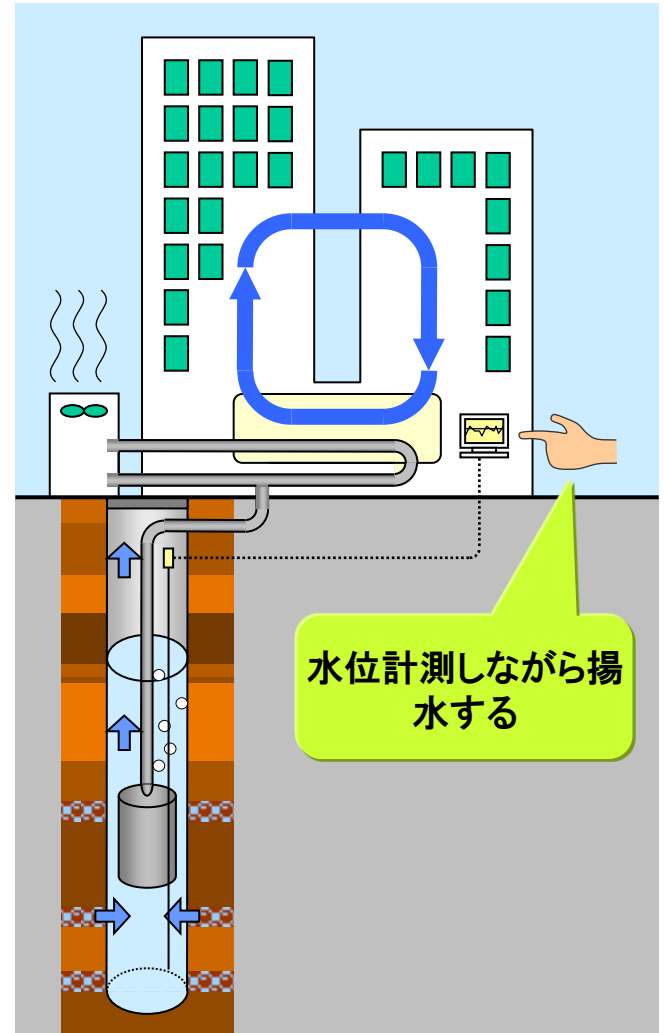
#### ③ 「非常災害用井戸」の常時利用の提案

##### 【提案】

揚水規制の主目的である地盤沈下の防止をはかりながら、地下水の持つ熱エネルギーの有効利用をするために、

『地下水位を観測しながら揚水量を制御して常時使用する』

ことを提案する



#### ④ 「非常災害用井戸」の常時利用の提案

##### ■提案の内容

平常時における地下水揚水を条件付で法的に可能にする  
＝ビル用水法、都条例規制緩和

##### ■考えられる条件

1. 地下水位の常時監視を行い、規定値以下になった場合は揚水を止める
2. 非常時(震災等長期の断水時)には、災害用井戸として地域防災に役立てる
3. 地域の特性に合わせ、規制区域を細かく見直す

##### ■提案理由

災害時の備えを用意してインフラ設備を冗長化あるいは二重化することは、それに掛かるコストおよびスペースという事業効率性の観点から、民間が私的に構築しようとする際の大きなハードルとなる

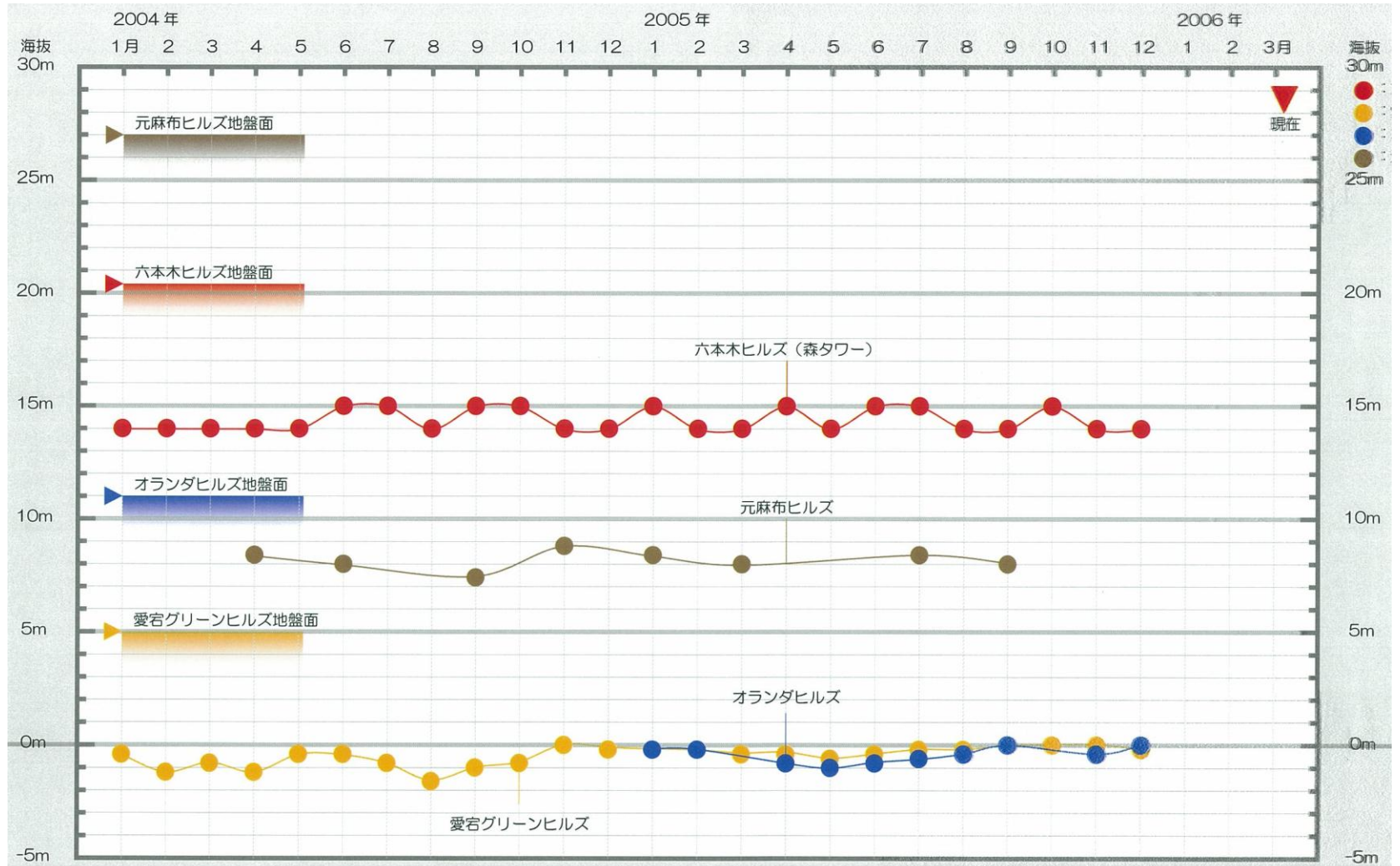
災害時の備えを平常時に利用することが可能で、またそれが平常時の事業性の観点でも優れたものであれば、事業者がそれらを導入しようとするインセンティブとなり得る。災害に対する備えと平常時の事業性を両立するための提案である。



# 3.非常災害用井戸の常時利用について

## ⑤ 「非常災害用井戸」の常時利用の提案

### 森ビル物件井戸の地下水位と変動量





# 3.非常災害用井戸の常時利用について

## ⑥ 「非常災害用井戸」の常時利用の提案

六本木ヒルズでの実験例

連続揚水試験による地下水位の変動量監視

H19年に約40日間に亘り24時間連続揚水を行ない、その間の地下水位を計測した記録

