

## 第2版 まえがき

---

21世紀の幕開け2001年5月に本書初版が発行されてから約15年が経過した。この間、大学を取り巻く環境は劇的に変化した。2004年4月、国立大学は国立大学法人に移行し、東京都立大学は、2005年4月に都立大を中心として都立4大学が統合され、東京都唯一の公立大学法人である「首都大学東京」という大学の後に東京がくつつくユニークな大学となった。これに伴い、大学院工学研究科土木工学専攻は大学院都市環境科学研究科都市基盤環境学域に改組され、人員も大幅に削減された。

2008年、日本の人口は1億2,800万人余のピークに達し、その後減少し始め、日本の長い歴史において初めての経験となる少子超高齢化社会に突入した。そして、2011年3月11日午後2時46分、三陸沖を震源とした我が国観測史上最大となるマグニチュード9.0の地震とそれに伴う巨大な津波が、東北地方から関東地方にかけての広い地域を襲った。この東日本大震災では「想定外」という言葉が繰り返された原発事故も発生し、国土の危機管理を念頭に置いた社会・都市システムの再編成が喫緊の課題となった。また、2012年12月2日には、山梨県の笹子トンネル天井板落下事故が起こり、社会・都市インフラの老朽化問題が大きくクローズアップされ、長年築き上げてきたインフラの維持管理・更新は待ったなしの状況であることが広く認識されるようになった。さらに、地球規模の環境悪化や資源逼迫もより顕在化し、何より地球温暖化による気候変動の広範囲に及ぶ様々な影響がマスコミにもセンセーショナルに取り上げられ、気候変動そして特に都市域におけるヒートアイランド現象への緩和・適応策が大いに注目されるようになった。

このような劇的なパラダイムシフトのもと、都市問題はさらに複雑化し、また近年の都市の技術の進歩は著しく、問題を解決するための総合的で新たなハード・ソフトの技術の必要性を鑑み、今回、『都市の技術』を全面的に見直し、新しい改訂版として再編することとした。

ii まえがき

首都大学東京は東京都唯一の公立大学法人であり，メガシティ東京を具体的な対象フィールドとして，都市問題の解決に向け教育・研究を行っている．本書は，これから都市問題を学ぼうとする初学者(教養課程の大学生を含む)や一般の人々を対象として，都市に関わる様々な問題の基本的な考え方とそこに使われる技術や手法を，具体的な例を挙げながらわかりやすく解説することを意図している．

初版は東京都立大学大学院工学研究科土木工学専攻に属する18名により分担執筆されたが，改訂版では首都大学東京大学院都市環境科学研究科都市基盤環境学域に属する15名での分担執筆(そのうち7名は初版の分担執筆者)となっている．本書が都市問題の理解と解決に役立つことを節に願う次第である．

2016(平成28)年2月

著者

## 第1章 都市を考える 1

- 1.1 都市とシビルエンジニアリング 1
  - 1.1.1 都市の歴史 1
  - 1.1.2 シビルエンジニアリングとは何か 2
  - 1.1.3 都市における安全で快適な生活 4
  - 1.1.4 環境とのバランスを考える 5
  - 1.1.5 社会基盤施設の持続 6
- 1.2 都市と地球を考える時空間スケール 8
  - 1.2.1 巨視的な時空間スケール 8
  - 1.2.2 地球年 8
  - 1.2.3 地球の半生を擬人的に振り返る 9
  - 1.2.4 地球長 12
  - 1.2.5 環境問題の巨視的考察 13
- 1.3 都市の形成 14
  - 1.3.1 都市形成・発展の要因 14
  - 1.3.2 産業集積をもたらす経済的要因 15
  - 1.3.3 都市成長と社会基盤 17
  - 1.3.4 日本における都市形成・都市発展の実態 18

## 第2章 都市を育む 23

- 2.1 水の循環と水資源 23
  - 2.1.1 水は巡る 23
  - 2.1.2 世界の水問題 24
  - 2.1.3 日本の水資源 27
  - 2.1.4 日本の水利用 30
  - 2.1.5 健全な水循環 32
- 2.2 都市と水環境 33
  - 2.2.1 川の治水・利水と環境の関係 33
  - 2.2.2 ダム貯水池の水環境 35
  - 2.2.3 河川の環境 38
  - 2.2.4 河口域の環境 41
- 2.3 港湾, 空港, 海岸, 海洋 44

- 2.3.1 開港と築港 44
- 2.3.2 港を守る技術 48
- 2.3.3 沿岸域の開発と沖合空港 51
- 2.3.4 陸上施設から海上施設へ 53

### 第3章 都市を活かす 57

- 3.1 上水道の計画と管理 57
  - 3.1.1 上下水道の歴史 57
  - 3.1.2 上水道の現況 59
  - 3.1.3 浄水処理プロセス 61
  - 3.1.4 水道の計画 63
  - 3.1.5 水道の管理 65
- 3.2 下水道の役割と処理プロセス 65
  - 3.2.1 下水道の役割 65
  - 3.2.2 下水道の構成 66
  - 3.2.3 下水処理場の処理プロセス 69
  - 3.2.4 都市の下水道－東京都の場合－ 71
  - 3.2.5 下水道の維持管理と今後の課題 73
- 3.3 都市廃棄物問題とリサイクル 74
  - 3.3.1 廃棄物発生の現状 74
  - 3.3.2 廃棄物の収集輸送 76
  - 3.3.3 廃棄物の処理処分 78
  - 3.3.4 廃棄物のリサイクル 81
- 3.4 資源循環型社会の形成と水環境の保全 82
  - 3.4.1 社会経済システムと環境 82
  - 3.4.2 「スーパーエコタウン」と「都市鉱山」 83
  - 3.4.3 水循環と水循環計画 85
  - 3.4.4 閉鎖性水域の富栄養化問題 88

### 第4章 都市を造る 93

- 4.1 循環型都市の建設 93
  - 4.1.1 都市を支えるコンクリート 93
  - 4.1.2 コンクリートと環境 97
- 4.2 社会資本であるコンクリート構造物 102

4.2.1	コンクリート構造物の特徴および種類	102
4.2.2	コンクリートで造られる構造物	107
4.2.3	コンクリートの施工方法	112
4.2.4	コンクリート構造物の劣化	115
4.2.5	コンクリート構造物の寿命	116
4.2.6	ライフサイクルコストへの意識改革	119
4.2.7	コンクリート構造物の劣化防止策および補修・補強	120
4.2.8	ま と め	122
4.3	鋼橋の設計法の高度化	123
4.3.1	事故の教訓と設計への反映	123
4.3.2	設計法の高度化	132
4.4	都市インフラの維持管理	135
4.4.1	都市インフラのストックの現状	135
4.4.2	鋼構造物の劣化と対策	137
4.4.3	インフラ構造物の性能と維持管理	141
4.4.4	長寿命化に向けた取組み	143

## 第5章 都市を支える 147

5.1	都市の地盤	147
5.1.1	地盤を観察してみる	147
5.1.2	地盤を調査する	149
5.1.3	東京の地盤の形成史	150
5.1.4	構造物の基礎	152
5.1.5	埋立地盤	154
5.2	都市のトンネル，地下空間の建設	155
5.2.1	都市のトンネル	155
5.2.2	開削トンネル	156
5.2.3	シールドトンネル	159
5.2.4	NATM トンネル	161
5.2.5	沈埋トンネル	163
5.3	都市のトンネル，地下空間の利用	165
5.3.1	地下空間の利用例	165
5.3.2	地下空間の特徴	172
5.3.3	大深度地下利用制度	175

## 第6章 都市を営む 179

- 6.1 都市の変容と都市計画 179
  - 6.1.1 都市における社会基盤政策 179
  - 6.1.2 都市計画 180
  - 6.1.3 都市計画の上位計画 182
  - 6.1.4 政策評価 185
- 6.2 都市の交通システム 188
  - 6.2.1 都市における交通の役割 188
  - 6.2.2 都市交通の特性 189
  - 6.2.3 都市交通計画 190
  - 6.2.4 東京都市圏と交通 191
  - 6.2.5 都市と環境と交通 194
- 6.3 道路交通の管理・運用 196
  - 6.3.1 道路交通 196
  - 6.3.2 交通渋滞 198
  - 6.3.3 交通渋滞の原因と対策 200
  - 6.3.4 情報化の進展と ITS 202

## 第7章 都市を守る 209

- 7.1 地盤の液状化 209
  - 7.1.1 なぜ土が液状化するのか? 209
  - 7.1.2 液状化の被害 211
  - 7.1.3 液状化対策 213
- 7.2 地震による揺れを予測する 216
  - 7.2.1 地震と地震動 216
  - 7.2.2 日本の地震活動 216
  - 7.2.3 震度とは 217
  - 7.2.4 東京都の被害想定(震度分布) 219
  - 7.2.5 地震動を予測する 221
  - 7.2.6 地下を可視化する物理探査 224
- 7.3 海岸の津波・高潮対策 226
  - 7.3.1 温暖化と津波・高潮対策 226
  - 7.3.2 浮体構造物を用いた新しい洪水対策の考え方 228
  - 7.3.3 浮体構造物を用いた都市の例 231

7.4	都市型水害とその対策	235
7.4.1	最強の自然災害は地震か？	235
7.4.2	水害のリスク	237
7.4.3	治水対策の変遷	237
7.4.4	都市水害と都市型水害	238
7.4.5	都市型水害への対策	242

索引	251
----	-----

## 1.1 都市とシビルエンジニアリング

### 1.1.1 都市の歴史

都市という言葉は、広辞苑によれば、「一定地域の政治，経済，文化の中核をなす人口の集中地域」と記されており，英語では，「city」あるいは「urban community」といった表現になる。都市には，生活や産業活動を行うための社会基盤施設（インフラストラクチャ）が必要である。例えば，道路，鉄道，橋梁，トンネル，河川構造物，港湾，上水道，下水道，電気，ガス，電話，情報ネットワーク，公園，ごみ処理施設等々で，これらに学校や病院をはじめ，住宅等の建築物が存在することにより，現代人は都市において活動することができる。社会基盤施設の中でも，道路，鉄道をはじめ，上水道，下水道，電気，ガスといったライフラインは，都市の存続に欠かせないものであり，巨大地震が発生した場合や台風が襲来した際には，ライフラインの強靱性によって自然災害による被害の大きさが左右されることになる。

ここで，都市の歴史を振り返ってみる。地球が誕生して46億年の時間が経過し，人類の誕生から数百万年が過ぎたと言われているが，都市というものはいったい何時から存在するのだろうか。歴史に学べば，世界の4大文明は，ナイル川，メソポタミアのチグリス川とユーフラテス川，インダス川，黄河という大河川の流域に発生した。この時，都市は既に形成されていたと思われる。すなわち，人々が特定の地域に集合した時，都市が形成されたと言ってもよいであろう。エジプト文明，メソポタミア文明，インダス文明，黄河文明は，いずれも今から5千年以上も昔の有史以前のことになる。これらの文明の考古学的な根拠として，日干し煉瓦れんがや焼成煉瓦が発掘されており，石材等も使って神殿や都市住宅が建設されていた。





写真 1.1.1 ポンペイの遺跡(著者撮影)

その後、ヨーロッパではギリシャ時代、ローマ時代を迎えることになるが、数多くの建造物をはじめ、道路、上水道、下水道をはじめとする都市基盤施設、すなわち都市を形成するインフラストラクチャ(以下、インフラと略す)が遺跡として残されている。とくにヨーロッパでは地震や台風といった自然災害が少なく、建造物も石や煉瓦で造

られてきたことから、世界遺産にも登録されるような数多くの建物やインフラ施設が、2千年以上も昔に存在した都市の姿を我々に見せてくれる。写真 1.1.1 は、世界遺産となっているイタリアのポンペイで撮影したものである。ポンペイは、西暦 79 年 8 月 24 日、ベスビオ火山の大噴火で火山灰に埋もれてしまったが、およそ 1,700 年の時を経て始まった本格的な発掘により、時間が止まったままの古代都市が出現している。現れたポンペイの町は、整然と区画され、住居はもちろん、劇場や公衆浴場、上水道や下水道まで完備されていた。

日本の歴史では、平城京や平安京といった都市造りにはじまり、その後は城や寺院あるいは商業等を中心とした都市が各地に形成されてきたと言えよう。日本の首都である東京は、明治時代以前には江戸と呼ばれ、江戸城は徳川幕府の中心的存在であった。なお、歴史的には徳川家康が江戸に移る以前、太田道灌(1432-1486)が江戸城を築いたと言われている。このように、日本の多くの都市は各地の風土と歴史の上に成り立っている。ただし、人工的に開発された研究学園都市やベッドタウン、工業団地等も存在しており、歴史的に見れば、比較的新しい都市も数多く開発されている。

### 1.1.2 シビルエンジニアリングとは何か

シビルエンジニアリングとは、「civil engineering」のカタカナ読みで、直訳すれば市民工学、この日本では「土木工学」という呼称で長年にわたり親しまれてきた。現在も、公務員試験をはじめ、民間企業やコンサルタントといった現実の社会では土木工学、あるいは単に土木という愛称で呼ばれている。本来、「civil engineering」と

は「military engineering」(軍事工学)と対比される言葉で、戦争ではなく、市民のために役立つ工学という意味を有している。すなわち、「世のため人のため」の工学であり、月曜日から日曜日までの1週間に2度も出てくる土・木という言葉は素晴らしいものである。

さらに言えば、土木という言葉は、今から2千年以上も前の『淮南子』という古い書物に残されている。『淮南子』は、漢の高祖である劉邦の孫にあたる劉安(BC.179-BC.122)が編纂したもので、この書物の中に「築土構木」という言葉が出てくる。話の内容は、人々は沢や穴に住んでいたので、冬の霜や雪、夏の暑さや蚊・ブヨを避けることができなかったが、聖人が現れ、土を築いて盛り上げ(築土)、木を使って構え(構木)、これで家屋とし、棟木を上にも構え、その下に部屋を作って家屋としたため、人々は安心して生活ができるようになった、というものである。まさに、人々の生活を守る原点に土木という言葉が発生していると言ってもよい。

しかしながら、最近では社会的風潮のためか、土木工学ではなく、都市、社会、基盤、建設、環境、地球といった言葉を単独もしくは組み合わせ、都市基盤工学や社会基盤工学、都市環境工学や社会環境工学、建設環境工学や地球環境工学、さらには都市基盤環境工学といった多くの呼称に変更されている。これは、高度経済成長の時代以降、公共事業に関する政治的、社会的な数多くの事件が新聞やマスコミに報道されるに従い、土木のイメージが低下してしまったことによる。本来の土木工学は、市民の生活や産業のために、水資源や砂防のためのダムを建設し、道路や橋梁、河川や港湾を整備し、鉄道やバスを運行し、上水道、下水道や適正なごみ処理、電気やガスの供給等を行うとともに、土地の整備や環境の保全を図る役割を有している。つまり、自然の脅威に対して、人々が安心して暮らせるような国土を創造するというきわめて重要な役割を担っていると言ってもよい。

原生林に人が住むには大変な危険があるが、土木工学は人々が安心して生活できる環境を創造するための学問分野である。この地球上に約70億の人類が生存していることは驚くべきことであり、これだけの人類が生存し続けるためには、食料や水、医療や生産技術にも劣らず必要となるのが土木工学であると言えよう。今後も人口の増加が続けば、将来的には地下空間土木、海洋土木はもとより、砂漠やツンドラ(永久凍土)、さらには宇宙空間における土木工学の領域も大いに活発化するはずである。

### 1.1.3 都市における安全で快適な生活

人々が都市において安全で快適な生活を営むためには、何が必要であろうか。この当たり前の質問に対して、例えば、原生林や広野に取り残されたことを想像してみる。生命を維持するためには、第一に必要なのが「水」であり、地球が「水の惑星」と呼ばれる原点がここにある。人体の7割近くが水分であることから、飲用できる水の確保がまずは必要になる。そして第二に、食料や衣料を生産するためには農業や工業が必要となり、あるいは購入するためには商業ということになる。これは、まさに人類の歴史とも言えよう。

都市を形成するためには、道路や鉄道、橋梁やトンネル、河川構造物、港湾、空港をはじめ、上水道、下水道、ごみ処理、電気、ガス、情報通信といった土木施設が必要であることは言うまでもないであろう。しかし、こうしたインフラが完備した中で快適な生活をしていると、現在の有り難さが次第に忘れがちとなる。日本を離れ発展途上国に出掛けた際、水道の水が飲めず、街中にごみが散乱し、下水道がなく河川や水路が汚濁している光景や、道路の整備状態が悪く渋滞や大気汚染といった状況に出会うことがある。このような時、安全で快適な生活とは何かを実感することになる。都市における快適性や利便性を考えると、しっかりとした都市のインフラ整備はその根幹をなすものである。

一方、日本は地震や台風といった自然災害が多い国土にある。地震大国、台風銀座という言葉に代表されるように、自然条件が厳しい国土の中、世界に冠たる技術力を研鑽してきたと推測している。地震について言えば、世界におけるマグニチュード6以上の地震のうち約2割が日本周辺で発生している。これは、日本列島がユーラシア、北米、太平洋、フィリピン海という4枚のプレートが重なる位置にあるため地震が多発することによる。さらには、火山性地震もあるため地震の発生頻度は高い値となっている。したがって、いつでも、どこでも大きな地震が発生する可能性があり、地震に対する備えは盤石を期すべきである。地震に対しては、耐震、免震、制震といった考え方があり、一日も早い地震対策の普及が期待されている。

また、台風による風水害に対しても、ダムや河川堤防等による万全な防御をしなければならぬ。台風だけでなく、最近では、都市域における集中的な降雨(ゲリラ豪雨)による床上・床下浸水を防ぐための雨水排除システム(下水道雨水幹線)の整備は必須であり、これらのインフラ整備なくして都市の安全を保つことはできな

い。

さらに、都市における生活を快適にするためには、公園、散策路、水辺空間といった憩いの場も大切である。人間にとって、緑や水は精神的にも重要な役割を占めており、ジョギング等の運動にもこれらの都市インフラは役立つ。このように、都市における生活には、様々な側面からの配慮が必要であり、総合的な視点からの検討が今後も大きな課題として残されている。

#### 1.1.4 環境とのバランスを考える

環境基本法[平成5(1993)年11月]によれば、「環境への負荷」とは、人の活動により環境に加えられる影響で、環境の保全上の支障の原因となる恐れのあるものと定義されている。また、この法律における「地球環境保全」とは、人の活動による地球全体の温暖化またはオゾン層の破壊の進行、海洋の汚染、野生生物の種の減少、そのほかの地球の全体またはその広範な部分の環境に影響を及ぼす事態に係る環境の保全であって、人類の福祉に貢献するとともに国民の健康で文化的な生活の確保に寄与するものとされている。そして、「公害」とは、環境の保全上の支障のうち、事業活動そのほかの人の活動に伴って生ずる相当範囲にわたる「大気汚染」、「水質汚濁」、「土壌汚染」、「騒音」、「振動」、「地盤の沈下」、および「悪臭」によって人の健康または生活環境に被害が生ずることをいう。これらの項目は、大規模開発事業等を行う際、環境への影響を事前に調査する環境アセスメント(環境影響評価)において予測、評価の対象となっている。

都市の発展に伴い、環境への配慮が大きな課題となる。つまり、環境とのバランスをいかにして図るかという問題に直面する。一例として、河川の水質汚濁を考えてみる。都市に人口が集中し、産業や経済が発展すると、水使用量も増大する。様々な都市活動の結果として排出される汚水が処理されなければ、河川の水質は汚濁することになる。一方、費用を掛けて下水道や工場排水処理施設を完備することにより、汚水を処理したうえで放流することができれば、河川の水質が悪化することはない。河川水質と処理費用との間にはトレードオフの関係が存在し、河川水質を向上させようとするれば、当然のことながら処理費用が増大することになる。逆に、処理費用を掛けなければ、河川水質はますます悪化することになる。

日本においても、戦後の高度経済成長に伴い水俣病をはじめとする公害問題が顕著となった時代があった。当時、大気汚染の問題等も含め、現在の環境問題とは比較にならないような公害が全国で発生していた。水質については、昭和45(1970)