

建設バック・トゥー・ザ・フューチャー

東京大学大学院工学系研究科
建築学専攻 教授
野口 貴文



2024年(令和6年)は、十干十二支では「甲辰(きのえ・たつ)」の年であり、「成功という芽が成長していき、姿を整えていく」年になる。しかし、年明け早々に能登半島地震が発生し、不安な幕開けとなってしまった。被災された方々には心よりお見舞いを申し上げたい。現地では現在も復旧・復興作業が進められているが、今後、港湾や鉄道・道路の修復、仮設住宅の建設、生活インフラの整備などが早急に進められ、一刻も早く日常が取り戻されることを祈念する。

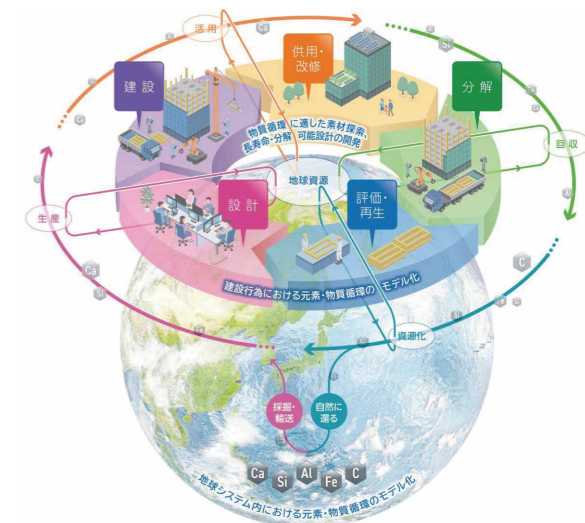
日本列島は、北米プレート、ユーラシアプレート、太平洋プレート、フィリピン海プレートという4つのプレート上に存在しており、幾つもの活断層を抱えている。そのため、何年かおきに巨大地震に見舞われるのは宿命であり、その境遇を踏まえての街づくり、交通網の整備、コミュニティの形成などを心がける必要がある。構造物の設計は、地震被害の調査を受けて確実に進歩してきている。1978年(昭和53年)の宮城県沖地震を受けて建築基準法が1981年(昭和56年)に改正され、建築物は「旧耐震」から「新耐震」に変わった。しかし、建築物の寿命は10数年と短いわけではなく、既存不適格(旧法・旧規定の基準で合法的に建てられた建築物)と呼ばれる建築物は一定数必ず存在し続ける。その結果、1995年(平成7年)の兵庫県南部地震(阪神淡路大震災)では、旧耐震と新耐震との間で住宅被害に大きな差が生じ、明暗を分けることとなったことは、今も記憶に鮮明に残っている。このように、構造物の設計は時代とともに変化してきている。それにもまして、構造物の建設技術、材料の製造技術、および品質管理・検査技術の変化・進歩は著しい。

2024年現在、多くの新設構造物の建設現場は、パネルやシートで囲われているため、中の詳細な様子を伺い知ることはできにくい。その中に入ると、トラックによって運び込まれた建設資材が立ち並んだクレーンによって運搬され、様々な重機が行き交い、単管パイプで組み立てられた足場・支保工が設置され、ポンプで圧送されたコンクリートが合板と締付け金物で形成された合板型枠中に打ち込まれて振動機で締め固められるといった光景が広がる。当然、作業服を着てヘルメットを被った多くの建設労働者が、墨出し、組立て、接合・溶接、加工・切断などの作業を人力で朝から夕までこなしている。建設業は、未だに最も労働集約的な産業の一つであることは間違いなく、昨今の情報化技術の飛躍的な発展にも関わらず、他産業と比較して生産効率の向上もそれほど図られてきていない。そのためか、近年、若手労働者、特に若手の建設技能労働者の不足が深刻な状況となっており、さらに生産効率が低下することが懸念される。構造物の解体工事現場でも同様に、パネルやシートで囲われた中で、重機を用いた部材の切断・解体・圧砕、労働者による鉄鋼の溶断などの作業が繰り返され、分別された建設廃棄物がダンプトラックに積み込まれて運び出され、中間処理場などに運搬されていく。また、建設資材の製造に関しては、鉄鋼は現在、高炉においては、鉄鉱石(酸化鉄)を原料とし、石炭から製造されたコークスを燃料兼還元剤として用い、シリコン・イオウ・リンなどの不純物除去用に石灰石を用いて製造されているが、電炉においては、電気エネルギーを用いて原料である鉄スクラップを溶融して製造されている。将来、新たな構造物の建設が不要になり、鉄鋼を高炉で新たに製造する必要がなくなって、高炉材がすべて電炉材に全て置き換わるとともに、電気エネルギーが再生可能エネルギーに転換されれば、鉄鋼は、完全にカーボンニュートラルでクローズドリサイクルが可能な建設資材になる。一方、コンクリートは現在、石灰石と粘土源(他産業の副産物が多く利用され、資源循環にある程度貢献している)から製造されたポルトランドセメントを水と練り混ぜて得られる結合材によって、碎石・砕砂・砂利・砂が繋ぎ合わされて製造されている。そして、廃コンクリートは、若干量がコンクリート用再生骨材として利用されているが、そのほとんどは路盤材などへのダウンサイクリングとなっており、再びコンクリートに戻ることのないほぼ一方的な流れとなっている。鉄鋼およびコンクリートは、現在、構造物の建設においては必要不可欠の建設資材となっており、世界中で大量に使用されているが、今後、2050年カーボンニュートラル社会の実現に向けて、両者には生き残りをかけた未曾有の試練が待ち構えている。

今から100年前の1924年(大正13年)、大正関東地震(関東大震災)の翌年、同潤会アパートが代官山、青山、江戸川橋、

横浜山下町に建設された。当時、一般的なコンクリートの配(調)合は、セメント:砂:砂利の割合が1:2:4であり、コンクリートの打込み部位に適した軟度が得られるように水が加えられていた。そのため、コンクリートを打込みやすい床スラブは水量が少なくなくて済み、軟らかいコンクリートでなければ打込みが困難となる柱・壁では多くの水を必要としたため、当時の構造物では、現状とは逆に、コンクリートの強度は柱・壁よりも床スラブの方が高いことが多い。すべての材料は1回の練り量に応じて「切箱」(1切=1立方尺=約27.8リットル)と称する木箱で容積計量された後、手練り、あるいはキューブ形ミキサ、ダブルコーン形ミキサまたはドラム形(円筒形)ミキサによる練混ぜが行われていた。練り混ぜられたコンクリートは、2人一組でバケツや樽で運ばれ、現場でバラ板と棧木とを組み合わせて製作された型枠内に打ち込まれた後、硬練りコンクリートでは、木製の蜻で叩くようにして層の上面に水がしみ出るまで突き固められたり、丸竹・割竹の棒で突き固められたりしたが、軟練りコンクリートでは、先端に木製・鉄製の平らなへら状のものが付いた棒を用いて突きおよび攪拌がなされた。このように、1924年におけるコンクリートの製造・施工技術は原始的なものであり、コンクリート製造・打込みは土工・雑工が担い、工事機械の運転は鳶工が担うといったように、施工者の知識は乏しく、知識ある設計者の監督指導の下でコンクリート工事が行われていた。もし、現在、大規模プロジェクトの建設工事を任されている現場監督がタイプスリップして、100年前の建設現場に突如現れ、同潤会アパートの建設現場を任されたとすると、その監督は何を考へ、どのような行動に出るだろうか。現在用いている建設機械・機器・設備・装置類を欲し、それらを絵に描いて関連企業に開発を促そうとしたとしても、半導体やプリント基板自体があるわけではないので、現在の機器・装置類の実現は不可能である。むしろ、周囲から奇妙に思われ、要注意人物として扱われてしまうことになりかねない。そのため、2024年までに獲得してきた知識・経験を総動員するとともに知恵を振り絞って、1924年における機器・装置類を駆使して、材料性能を高め、施工品質を安定させ、生産効率を向上させるための様々な取組みを行うであろう。つまり、100年後の建設現場を思い描いての改善・開発である。このことは、やがて、100年かからずして実を結ぶこととなるに違いない。

では、100年後の2124年、建設資材として何が用いられ、建設現場はどのような状態になっているのであろうか。ここ数年の兆候からすると、2050年カーボンニュートラル社会の実現に向けて、建設資材のカーボンニュートラル化に向けた変革が急速に進み、コンクリートはCO₂を原料として製造される形になっているものと予想される(期待を込めての予想ではあるが)。より理想的には、地球上のすべての資源の元素レベルでの循環がコントロールされた形で建設活動が営まれ、その建設活動に必要なエネルギーもすべて再生可能エネルギーで賄われているであろう。すなわち、建設資材のすべては解体された構造物から再生される。そして、工場において再生建設資材を用いて部材の自動製造がなされ、部材が建設現場に自動搬送され、ロボットによる自動組立てがなされることにより構造物が完成するか、または、再生建設資材が建設現場に自動搬送され、ロボットによる自動化施工がなされることにより構造物が完成することになる。これらの動力源はすべて電気エネルギーであり、建設現場の騒音・振動は格段に低減するであろう。また、ロボットによる構造物の自動解体後、建設廃材は、その場で化合物(元素)ごとに分別されて、中間処理場(または建設資材再生工場)に自動搬送されて、次なる建設工事へと利用されていく(下図参照)。このような循環は、場所を越え、時代を越えたサプライチェーンとして最適化が図られた形になっているであろう。つまり、ある地域・時代に生じる建設活動・解体活動と、別の地域・時代に生じる建設活動・解体活動とはチェーンで繋がっており、その最適化はAIが図っているという世界である。もし、そのような時代に上記の現場監督がタイプスリップしたとすると、その監督はどのような仕事を見出し、社会に貢献しようとするのであろうか。2124年の建設現場における人間の業務とは何であらうか。もしかしたら、ロボットの点検業務しか人間の仕事はなくなっているかもしれない。いや、ロボットの点検すらロボットが行っているかもしれない。ロボットのスイッチのオンオフすらも自動でなされていることは容易に想像できる。残念ながら、私には、100年後の建設資材製造工場や建設現場における人間の仕事を見出す想像力は無さそうである。想像力豊かな方は、是非、100年後に人間はどのような仕事を行っているか、思い描いてみていただきたい。私にも確実に言えるのは、100年先の建設資材の製造方法、構造物の建設方法・手順に思いを馳せ、一歩でもその夢を実現できるように研究開発を進めるとともに、100年後にも残存する構造物となるよう、その設計・建設、利用建設資材の製造を確実に行っていかなければならないというくらいである。



<https://www.t.u-tokyo.ac.jp/press/pr2023-10-03-001>