



鶴亀算をどう解くか

京都大学大学院 工学研究科 教授 木村 亮

KIMURA Makoto

小学校で習う「鶴亀算」という算数の問題をご存じでしょうか。「鶴と亀が併せて10います。足の合計本数は28本です。亀は何匹いますか」という問題です。「鶴亀算」とは「2つ以上の異なるものが存在していて、その合計数だけが分かっている時にそれぞれがいくつか」を考える問題です。

この問題は小学生で習う算数の問題ですが、中学で習う数学の連立方程式の問題として解くと、簡単に解けます。鶴がX羽、亀がY匹いたとすると、鶴の足の数は2本、亀の足の数は4本ですから、 $X+Y=10$ 、 $2X+4Y=28$ と2つの式を立てXとYを求めればいいのです。では、連立方程式の解き方を知らない小学生は「鶴亀算」をどのように解くのでしょうか。

表を作って考えればいいです。10匹全部鶴として足の数を計算すると20本、9匹鶴で1匹亀なら足の数は $9 \times 2 + 1 \times 4 = 22$ 本と鶴の数を1匹ずつ減らして足の数を表記すれば、鶴6匹、亀4匹という答えに辿り着きます。併せて150いるという問題であれば途方もなく表記しなければならないのですが、「鶴1羽を亀1匹に変身させる毎に足の合計が2ずつ増える」という規則性に気づけば、XやYを使わなくても算数の式を立てることができ、「鶴亀算」は解けます。

小学校で習う算数の知識や規則で、中学校の数学の問題も解けないことはないが、全て解けるわけではありません。それなりの工夫や連立方程式、級数、関数などの新しい知識が必要になります。杭基礎の設計なども小学校の算数と同じです。

私は群杭の水平抵抗の問題を研究し博士になり、その後も一研究テーマとして構造物と地盤の静的・動的相互作用の問題を解明することに力を注いできました。群杭の静的・動的力学特性や長期沈下特性、鋼管矢板基礎の挙動などを、小型模型実験、現場実験、遠心模型実験、3次元FEM解析などを酷使して研究しました。ここ15年ほどの間、合理的な上部下部一体構造として、集成橋脚を持つフーチングを省略した群杭基礎を提案してきました。

4本の鋼管柱とそれらを繋ぐせん断パネルにより、大地震時には鋼管柱は弾性域に抑え、エネルギー吸収し塑性化したせん断パネルだけを地震後に取り換えます。下部構造は大きな重量を有するフーチングを省略し地表面

の浅い部分に地中梁を作り、上部工の4本の鋼管柱をそのまま杭基礎として使うという、発想を転換した上部下部一体構造です。道路橋示方書には損傷ランクとそれぞれのランクに応じた要求性能が記載されていますが、損傷制御型橋脚・基礎という考え方をういた画期的で合理的な手法です。

阪神大震災で大きな被害を受けましたが、それ以前から技術の探求を継続して行い、新しい技術開発に情熱を燃やす阪神高速道路株式会社との共同研究の成果です。液化化時でも考慮した大型土槽による振動台実験、遠心模型実験、それらを説明可能な動的3次元弾塑性FEMによる数値実験を実施しました。終局の破壊モードも確認済みで、関西では2現場で実際に使われ、性能向上とコスト削減を両立した技術として土木学会の技術賞や田中賞を受賞しています。また研究面でも土木学会の論文賞を受賞しており、どこに出しても恥ずかしくない地震国の日本らしい基礎形式です。

上部構造と下部構造を一体として挙動予測し設計することや、フーチングを省略して耐震的に有利な構造にすることは、小学生の算数の教科書には載っていません。中学の数学の世界でも難しいかもしれません。実験技術の進歩と解析技術の飛躍的な進歩を背景に、設計基準を理解しながら逸脱するような構造を考え、世界に日本の技術力を示すことは、非常に挑戦的なことと考えています。技術者の醍醐味です。

技術の基本である道路橋示方書を作られる方は、全国1万社あるコンサルタントに所属する技術者が、だれも迷わずスパン長30mの橋を架けられるように考えた技術書であると明言されました。それならば、世界最大クラスの橋梁やその基礎を作る時は、小学校の算数の知識で「鶴亀算」の応用問題に対処することには無理があり、連立方程式の解法くらいは使えないと、技術者としての気概は保てません。小学生の「鶴亀算」の解き方だけでは、土木技術の世界に若者が興味を示さなくなります。

私が小学校の算数の先生なら、「XとYや連立方程式は使ってはいけません」などと言わず、「小学校の教科書を基礎とし、どんどん新しい知識を勉強し新しい方法を考えなさい」と言うでしょう。今後は難問を解いていかねば、持続的な社会は構築できないと思います。何事も探求心と挑戦です。